

平成21年6月22日現在

研究種目：若手研究（A）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18680025  
 研究課題名（和文） ヒトの心理生理反応の定量的計測による聴覚の動的処理機能解明  
 研究課題名（英文） Elucidation of dynamic functioning of auditory sensation by quantitative measurement of human psychological and physiological response  
 研究代表者  
 添田 喜治（SOETA YOSHIHARU）  
 独立行政法人産業技術総合研究所・人間福祉医工学研究部門・研究員  
 研究者番号：10415698

## 研究成果の概要：

本研究は、ヒトの聴覚情報処理メカニズムを解明し、ヒトの心理・生理反応に立脚した音環境評価手法を確立することを目的とした。音圧レベル、周波数、周波数帯域（幅）、両耳間相関度、両耳間時間差などの音の物理要素を変化させた時の、音の大きさ（ラウドネス）、高さ（ピッチ）、高さの明瞭度、方向感等の心理反応と、大脳の生理反応である脳磁界活動を調べ、音の大きさ、高さの明瞭度、方向感の変化が、大脳の活動位置や活動強度に反映されることを明らかにした。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2007年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2008年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
年度			
年度			
総計	22,100,000	6,630,000	28,730,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：感性官能計測・評価

## 1. 研究開始当初の背景

従来の音環境評価は、音圧レベルとおおまかな周波数特性により行われてきた。しかし、音圧レベルが小さくても不快な音が存在する、周波数特性が等しくても時間変動が異なるために不快度は異なる、音の方向感が不快度に影響を及ぼす、といったことが報告され、音圧レベルと周波数特性以外の要素を音環境評価に加える必要性が高まっていた。

これまでの研究代表者らの研究から、音の大きさや高さといった基本的知覚が、音の自己相関・相互相関ファクターにより表現できることが明らかにされつつあったことから、

さらに複雑な音の知覚が自己相関・相互相関ファクターにより表現可能か、ヒトの心理・生理反応に影響を与えるか、調べることで、音環境評価に影響を与える音の物理要素を解明し、ヒトの知覚を反映する音環境評価手法を提案できるのではないかと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、様々な音に対するヒトの心理・生理反応を解析し、ヒトの聴覚情報処理メカニズムを解明し、音環境評価に必要な要素を明らかにすることであった。

これまでの研究成果から、音信号の自己相

関・相互相関のファクターにより、音に対するヒトの基本的知覚（ピッチ（音の高さ）・ラウドネス（音の大きさ））をよく表現することができるがわかっている。また、脳磁図を用いた生理反応計測から、ピッチやラウドネスと対応する音の自己相関・相互相関のファクターの変化に対応する脳活動を明らかにしている。本研究では複雑な実際の音環境評価に必要な要素を明らかにするために、これまでの音楽、音声、音の場所の知覚・認知に関する研究から、音の高さの明瞭度、周期成分、方向感、の少なくとも三つの要素が、実際の音環境評価に有効と考え、各要素を音の自己相関・相互相関ファクターで定量化し、ヒトの心理・生理反応との対応関係を調べた。

### 3. 研究の方法

#### (1) 刺激の作成

実験で用いた刺激は、純音、広帯域雑音、狭帯域雑音、の中心周波数や帯域幅を変化させたり、時間遅れをつけて重ね合わせることで作成した（繰り返しリブル雑音）。各刺激は、自己相関・相互相関ファクターにより定量化した。自己相関は、ある信号と時間遅れを加えた信号の相関関数で、信号に含まれる周期成分の抽出に有効である。自己相関解析により、3つのファクター（ $\tau_1$ ,  $\phi_1$ ,  $\tau_e$ ）がえられ、 $\tau_1$ は音の高さ、 $\phi_1$ は音の高さの明瞭度、 $\tau_e$ はテンポ・響きと対応する（図1）。相互相関は、左右の耳に入る音の相関関数で、空間の知覚と密接に関わっている。相互相関解析により、2つのファクター（IAC, ITD）がえられ、IACは音の拡がり感、ITDは音の方向（水平方向）と対応する（図2）。

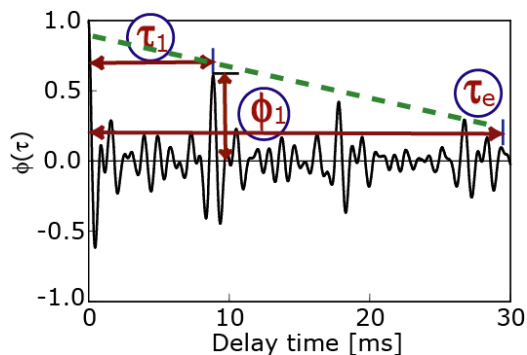


図1 自己相関ファクターの定義

#### (2) 心理計測

ラウドネス（音の大きさ）等の心理反応の計測には単純上下法を用いた。単純上下法は、比較刺激（ラウドネスを求めたい音）と標準刺激（1 kHz の純音）を一对で提示し、被験者にラウドネスを判断させ、比較刺激のほうが大きいと被験者が判断したときには標準刺激の音圧レベルを上げ、比較刺激のほうが

小さいと被験者が判断したときには標準刺激の音圧レベルを下げる、という手続きを繰り返す。この手続きにより、比較刺激がもたらす感覚特性と標準刺激がもたらす感覚特性が等しい時の標準刺激の音圧レベル（主観的等価値）を求めた。

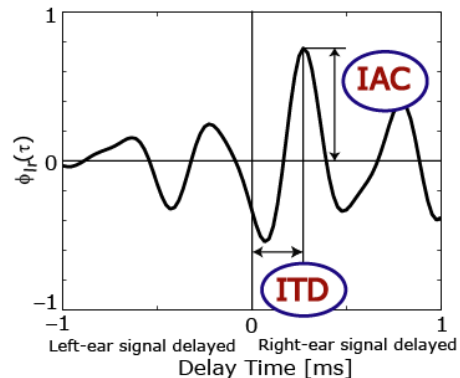


図2 相互相関ファクターの定義

#### (3) 生理計測

生理反応の計測には、脳磁図（MEG）を用いた（図4）。MEGが測定するのは、脳内の電氣的活動に伴って発生する磁場変化である。MEGにより、刺激からどれくらいの時間で脳が測定可能なレベルまで活動を変化させたか（反応潜時）、どの程度の大きさまで磁場変化を起こしたか（反応強度）、その磁場の分布はどう変化したかを知ることができる。反応潜時は、反応するまでの経路やプロセスの複雑さ、反応強度は、反応に寄与する皮質の広がりや錐体細胞に入力するシナプスの活動に影響を受ける。反応磁場の分布は、与えられた刺激に反応する大脳皮質分布に依存することから、脳機能の局在性を推定することができる。

本研究では、刺激の入力に対して誘発される反応（聴覚誘発脳磁界反応）を100回以上同期加算して解析した。刺激の入力後約100 msに出現するN1m反応が、最も大きく安定して観察されたので、N1m反応に注目して解析した。



図4 脳磁図（MEG）計測装置

#### 4. 研究成果

##### (1) 音の高さの明瞭度に関わる脳磁界反応

音を特徴づける基本的要素である周波数と帯域幅を変化させることで、音の高さとその明瞭度を変化させ、心理反応（ラウドネス）と生理反応（脳磁界反応）の解析を行った。解析の結果、N1m 音の高さが明瞭な ( $\phi_1$  が大きい) ほど脳磁界活動強度 (N1m 活動強度) は大きくなった (図5)。また、ラウドネスと N1m 活動強度の関係を調べた結果、2000 Hz 以下ではラウドネスの増大に伴い N1m 活動強度も増大したが、2000 Hz 以上ではラウドネスと N1m 活動強度にはっきりした関係は見られなかった (図6)。この結果は 2000 Hz 前後でラウドネスの知覚メカニズムが異なる可能性を示唆している。

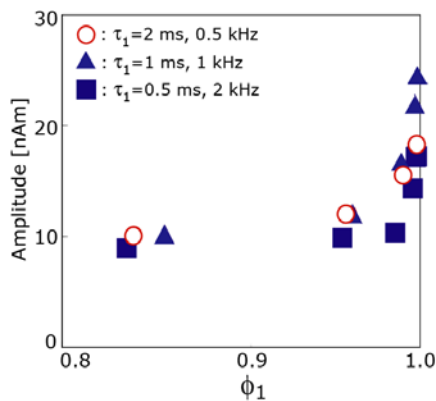


図5 刺激音の $\phi_1$ と脳磁界活動強度の関係

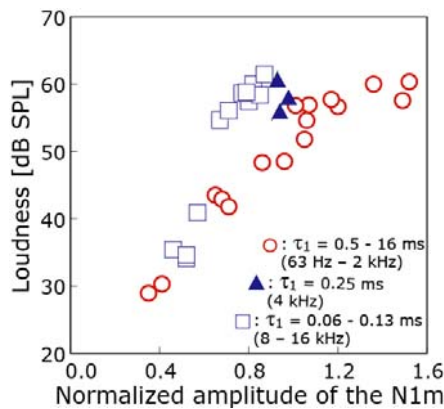


図6 刺激音のラウドネスと脳磁界活動強度の関係

繰り返しリップル雑音を用いて、ピッチ ( $\tau_1$ ) とピッチの明瞭性 ( $\phi_1$ ) を変化させて脳磁界反応を調べた。解析の結果、ピッチが約 60 Hz までは、ピッチの低下とともに N1m 活動潜時は延長したが、ピッチが約 60 Hz 以下のときには、N1m 活動潜時は急激に短縮した。これは、ピッチの知覚限界が N1m 潜時に反映されることを示唆している (図7)。また、ピッチの明瞭な音はヘシュル回付近で処理

され、ピッチの明瞭でない刺激は側頭平面付近で処理される、つまりピッチが明瞭な音とそうでない音とで脳の処理部位が異なることがわかった。この結果は、ピッチの明瞭な音とそうでない音に対する脳の処理メカニズムが異なることを示している。

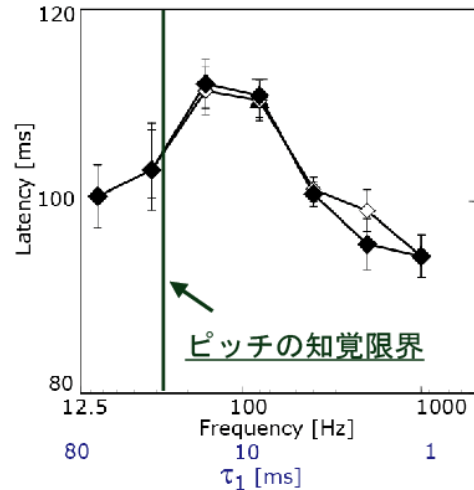
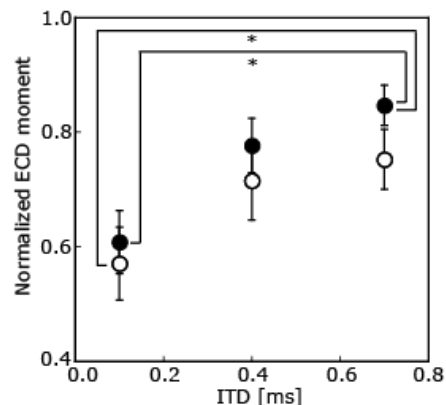


図7 繰り返しリップル雑音の $\tau_1$ を変化させたとき N1m 活動潜時。(◇) 左半球, (◆) 右半球.

##### (a) 純音周波数 800 Hz



##### (b) 純音周波数 1600 Hz

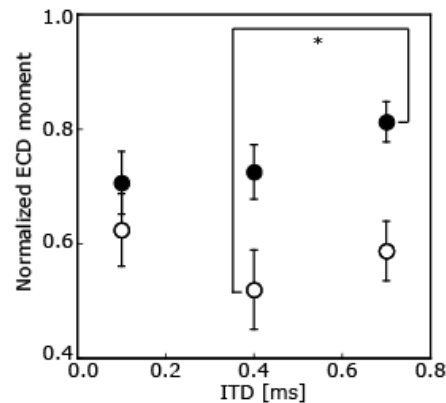


図8 純音を用い ITD を変化させたときの N1m 活動強度。(○) 左半球, (●) 右半球.

## (2) 両耳間時間差・相関度に関わる脳磁界反応

音の位置の知覚に関わる周波数、両耳間時間差 (ITD)、両耳間相関度 (IAC) を変化させたときの脳磁界活動 (MEG) を解析した。

800 Hz と 1600 Hz の純音を用い、ITD を変化させて MEG を解析した結果、純音の周波数が 800 Hz の時は、ITD の増加に伴い N1m 活動強度も増加したが (図 8 a)、純音の周波数が 1600 Hz の時は、ITD の増加に伴い N1m 活動強度は有意に変化しなかった (図 8 b)。

IAC と ITD を変化させて MEG を解析した結果、IAC が低いときには、ITD の変化に対し N1m 活動強度は有意に変化しなかった (図 9 a)。しかし、IAC が高いときには、ITD の増大に伴い N1m 活動強度が増加する傾向が見られた (図 9 b)。

2つの実験結果は、音源の位置が明瞭に知覚されないときには、ITD の変化に対し脳磁界活動は有意に変化せず、音源の位置が明瞭に知覚されるときには、ITD の増大に伴い脳磁界活動強度が増加することを示している。これは、音源の定位能が聴覚野の活動に反映された、つまり、両耳間時間差情報が聴覚野では活動強度の違いとして表現されていることを示している。

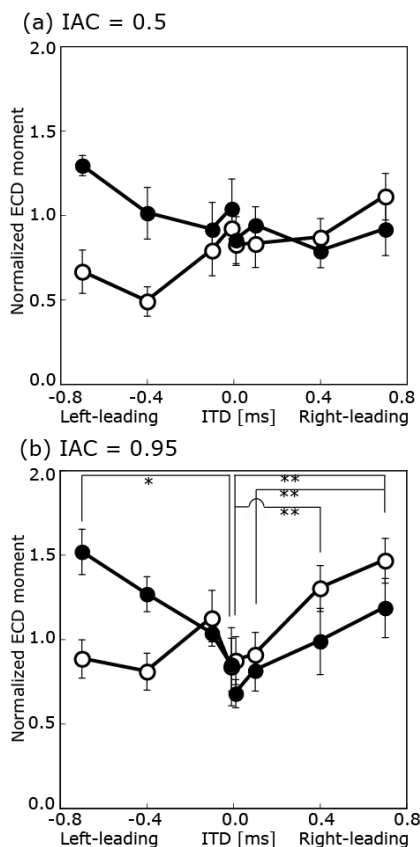


図9 帯域雑音を用いて IAC と ITD を変化させたときの脳磁界活動強度。(○) 左半球、(●) 右半球。

## (3) 音の繰り返し成分に対するラウドネスと脳磁界反応

刺激音に繰り返しリプル雑音を用いて、刺激音に周期成分の含まれる割合 ( $\tau_e$ ) がラウドネスに与える影響を調べた。実験の結果、周波数が 125 Hz から 1 kHz に相当するピッチを有する音に関して、周期成分が多く含まれるほど、つまり  $\tau_e$  が長いほどラウドネスが上昇する傾向が見られた (図 10)。この結果は、環境評価には、従来から用いられている音圧レベルだけでなく、周期成分が音に含まれる割合 ( $\tau_e$ ) を考慮する必要があることを示している。

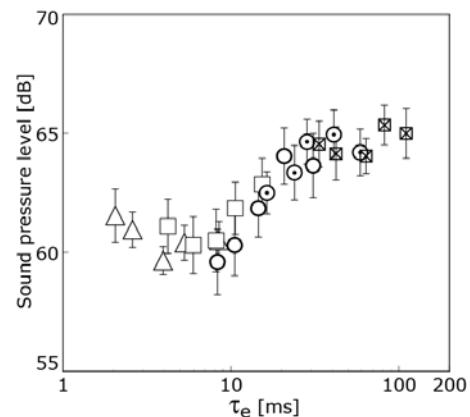


図10 繰り返しリプル雑音を用いて  $\tau_e$  を変化させたときのラウドネス。記号の違いは  $\tau_1$  の違いを表す。

## 5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計12件)

1. Soeta, Y., and Nakagawa, S., Effect of the repetitive components of a noise on loudness, *Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment*, 8, 1-7, (2008). (査読有)
2. Soeta, Y., Shimokura, R., and Nakagawa, S., Effects of the center frequency on binaural auditory filter bandwidth in the human brain, *NeuroReport*, 19, 1709-1713, (2008). (査読有)
3. Soeta, Y., and Nakagawa, S., Effect of the bandwidth of high frequency sounds (> 8 kHz) on loudness, *Journal of Sound and Vibration*, 314, 453-456, (2008). (査読有)
4. Soeta, Y., and Nakagawa, S., The effect of pitch and pitch strength on an auditory-evoked N1m, *NeuroReport*, 19, 783-787, (2008). (査読有)
5. Soeta, Y., and Nakagawa, S., Relationship between loudness and auditory evoked N1m, *Biomagnetism: Interdisciplinary Research and Exploration*, 95-97 (2008). (査読有)
6. Soeta, Y., and Nakagawa, S., Effects of the binaural auditory filter in the human brain, *NeuroReport*, 18, 1939-1943, (2007). (査読有)

7. Soeta, Y., Yanai, K., Nakagawa, S., Kotani, K., and Horii, K., Loudness in relation to iterated rippled noise, *Journal of Sound and Vibration*, 304, 415-419 (2007). (査読有)

8. Soeta, Y., and Nakagawa, S., Complex tone processing and critical band in human auditory cortex, *Hearing Research*, 222, 125-132 (2006). (査読有)

9. Soeta, Y., and Nakagawa, S., Auditory evoked magnetic fields in relation to interaural time delay and interaural correlation, *Hearing Research*, 220, 106-115 (2006). (査読有)

10. Soeta, Y., Nakagawa, S., and Matsuoka, K., The effect of center frequency and bandwidth on the auditory evoked magnetic field, *Hearing Research*, 218, 64-71 (2006). (査読有)

11. Soeta, Y., and Nakagawa, S., Effects of the frequency on interaural time difference in the human brain, *NeuroReport*, 17, 505-509 (2006). (査読有)

12. 添田喜治, MEG による聴覚情報処理機能の解明と環境評価の試み, *生理心理学と精神生理学*, 24, 19-35 (2006). (査読有)

#### 【学会発表】(計16件)

1. Soeta, Y., and Shimokura, R., "Noise and sound field measurement in train vehicles", INTER-NOISE 2008 - the 37th International Congress on Noise Control Engineering, 26-29 October 2008, Shanghai, China

2. 添田喜治, 下倉良太; "快適な鉄道車内音環境設計のための基礎的検討", 2008年日本騒音制御工学会秋季研究発表会, 2008年9月25日-26日

3. 添田喜治, 下倉良太, 中川誠司; "両耳の臨界帯域幅に関連する聴覚誘発脳磁界反応", 2008年日本音響学会秋季研究発表会, 2008年9月10日-12日

4. Soeta, Y., Shimokura, R., and Nakagawa, S., "Effects of the binaural auditory filter on an auditory evoked N1m", *Biomag 2008 - 15th International Conference on Biomagnetism*, 25-29 August 2008, Sapporo, Japan

5. Soeta, Y., and Nakagawa, S., "Relationship between loudness and auditory evoked magnetic N1m", *Biomag 2008 - 15th International Conference on Biomagnetism*, 25-29 August 2008, Sapporo, Japan

6. 添田喜治, 中川誠司; "音の高さとその明瞭性に関わる脳磁界反応", 第23回日本生体磁気学会大会, 2008年6月12日-13日

7. Soeta, Y., and Nakagawa, S., "Magnetoencephalographic responses in relation to the factors extracted from autocorrelation and interaural cross-correlation function", *The 3rd International Symposium on Temporal Design*, 2-7 November 2007, Guangzhou, China

8. 添田喜治, 中川誠司; "二つの純音の周波数差を変化させた時の聴覚誘発脳磁界反応とラウドネス", 2007年日本音響学会秋季研究発表会, 2007年9月19日-21日

9. Soeta, Y., and Nakagawa, S., "Auditory evoked magnetic fields and loudness in relation to the to bandpass noises", *The 19th International Congress on Acoustics*, 2-7 September 2007, Madrid, Spain

10. 添田喜治, 中川誠司; "音源の位置の知覚に関わる聴覚誘発脳磁界反応", 第22回日本生体磁気学会大会, 2007年6月21日-23日

11. 添田喜治, 中川誠司; "両耳間時間差と両耳間相関度に関わる脳磁界反応", 第7回脳磁図ニューロイメージング, 2006年12月13日-15日

12. 添田喜治, 中川誠司; "雑音の帯域幅とラウドネスに関連する聴覚誘発脳磁界反応", 第21回生体・生理工学シンポジウム, 2006年11月17日-19日

13. Soeta, Y., and Nakagawa, S., "The effect of critical band on the auditory evoked magnetic field", *Auditory Cortex 2006 - 15th International Conference on the Auditory Cortex*, 17-21 September 2006, Grantham, United Kingdom

14. Soeta, Y., and Nakagawa, S., "Auditory evoked magnetic fields in relation to performance of sound localization", *Biomag 2006 - 15th International Conference on Biomagnetism*, 20-26 August 2006, Vancouver, Canada

15. Soeta, Y., and Nakagawa, S., "Auditory evoked magnetic fields in relation to center frequency and bandwidth", *Biomag 2006 - 15th International Conference on Biomagnetism*, 20-26 August 2006, Vancouver, Canada

16. 添田喜治, 中川誠司; "中心周波数と帯域幅に関連する聴覚誘発脳磁界", 第21回日本生体磁気学会大会, 2006年6月1日-2日

#### 【図書】(計1件)

1. 添田喜治, 13 からだ 脳波・脳磁波, 音の百科事典, 738-741(2006).

【その他】ホームページ

[http://staff.aist.go.jp/y.soeta/index\\_j.htm](http://staff.aist.go.jp/y.soeta/index_j.htm)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

添田 喜治

独立行政法人産業技術総合研究所・人間福祉  
医工学研究部門・研究員

研究者番号：10415698

(2) 連携研究者

下倉 良太

独立行政法人産業技術総合研究所・人間福祉  
医工学研究部門・産総研特別研究員

研究者番号：90455428