fMRI 計測による振幅変調音聴音時の脳内活動部位解析

正員 深見 忠典* 正員 島田 尊正**

非会員 赤塚 孝雄* 非会員 斎藤 陽一***

The Analysis for Activations in the Brain during Hearing the Amplitude-Modulated Tone by fMRI Measurement

Tadanori Fukami*, Member, Takamasa Shimada**, Member, Takao Akatsuka*, Non-member, Yoichi Saito***, Non-member

In audiometry, ABR (Auditory Brainstem Response) is widely used. However, it shows low accuracy in low frequency band. Meanwhile, AMFR (Amplitude-Modulation-Following Response), the response during hearing an amplitude-modulated tone, has high frequency specificity and is brought to attention. As the first step to clinical application of AMFR, we investigated the activated areas in a brain when the subjects hear SAM tone (Sinusoidally Amplitude-Modulated tone) with both ears. We measured following two signals. One is the difference of BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) signal between hearing SAM tone vs. silence, the other is the difference of BOLD signal between hearing SAM tone vs. unmodulated tone. As a result, in the case of SAM vs. silence, the bilaterally auditory cortex (Brodmann Area 41, 42), the bilaterally BA 10, left superior frontal gyrus and right superior temporal gyrus were activated ($p < 0.0037$, uncorrected).

In the case of SAM vs. unmodulated tone, the bilaterally superior frontal gyrus (BA 6) and precuneus (BA 7), neighboring area including the bilaterally inferior parietal lobule (BA 40), the bilaterally medial frontal gyrus and superior frontal gyrus were activated ($p < 0.021$, uncorrected). Activations of visual perception due to eye-opened state were detected in some parts of activations.

As a result, we inferred that modulated tone was recognized in the medial frontal gyrus and inferior parietal lobule was the part related to perception of amplitude-modulation.

キーワード：fMRI，振幅変調音，聴覚刺激，賦活部位

Keywords: fMRI, amplitude modulated sound, auditory stimulus, activated area

1. まえがき

聴力検査において，現在聴性脳幹反応 (Auditory Brainstem Response: ABR) が広く用いられている。ABR は，2000Hz 以上の高周波数に対する聴力検査としては優れて

いるが，500～1000Hz の低周波数において信頼性が低いと言われている。そこで，変調周波数追従反応 (Amplitude-Modulation-Following Response: AMFR) が注目されている。聴覚伝導路は，外耳，中耳，内耳から蝸牛神経に伝わり，下丘，内側帯状体を経由して側頭葉内側面の一次聴覚野に投射される経路として知られているが，ABR は脳幹レベルでの反応であるのに対し，一方，AMFR はそれ以降の音の情報の流れも反映しているものと考えられる。その上，周波数特異性が高く，睡眠時にも計測可能であり，ABR よりも聴力判定に向いていると考えられている⁽¹⁾。このことから，将来 ABR に代わる検査法となる可能性を秘めていると思われる。

AMFR は，正弦波的振幅変調音 (Sinusoidally Amplitude-Modulated tone: SAM tone) と呼ばれる搬送周波数 (Carrier Frequency: CF) と変調周波数 (Modulation Frequency: MF) の積で得られる刺激音を与えることによ

* 山形大学工学部応用生命システム工学科
〒 992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16
Dept. of Bio-System Engineering, Faculty of Engineering,
Yamagata University,

Jonan 4-3-16, Yonezawa city, Yamagata Pref., 992-8510
** 東京電機大学情報環境学部情報環境デザイン学科
〒 270-1355 千葉県印西市武西学園台 2-1200
Dept. of Information Environments, Tokyo Denki University,
Muzai-Gakueidai 2-1200, Inzai city, Chiba Pref., 270-1355

*** 脳波計量解析研究所
〒 114-0015 東京都北区中里 1-9-1
Research Institute for EEG Analysis,
Nakazato 1-9-1, Kita-ku, Tokyo, 114-0015

て誘発される。しかしながら、この変調音を聴音した際の脳内での活動部位は明らかになっていない。

SAM 音聴音時の脳内活動部位に関する報告として、R.Schoonhoven ら⁽²⁾の MEG を用いた双極子解析がある。彼らは、CF を 1000Hz、MF を 40Hz として変調音を生成、被験者に呈示し、151 チャンネル全頭型 MEG を用いて計測している。計測データに対し等価双極子解析を行い、5 つのダイポールを求めている。結果として、発生源は聴覚野周辺であったとしている。MEG による計測は、ミリ秒オーダーと時間分解能は高いという長所はあるが、一方で、彼らの使用した頭部モデルは球形であり、実際の頭部形状とかけ離れていること。また、双極子解析は、発生源が既知であるか、局所的に存在する場合には有効であると考えられるが、仮定した双極子数により推定されるダイポール位置が異なったり、空間的に広がった発生源を持つ場合は、それを推定することが困難であると言った問題点もある。

そこで今回、我々は、fMRI を用いて SAM 聴音時の賦活部位の推定を行った。本来、AMFR とその起源について議論をするならば脳波と fMRI の同時計測を行う必要があるが、AMFR は ABR 同様、被験者の識別や認知といったタスクを伴わずに出現する電位であることと、今回は、あくまで変調音聴音時の賦活部位を明らかにすることを目的として、fMRI のみで計測が行われた。fMRI 計測は、時間分解能は秒オーダーと高くはないが、ダイポール解析と異なり、発生源が空間的に広範囲に広がっている場合にも推定することができる。fMRI による聴覚の研究は、言語など複雑な時系列をもつ音の認知に関しては、多く行われているものの、単音など比較的単純な時系列をもつ音の認知に関しては、ほとんど報告はない。川島ら⁽³⁾の研究では、音の振幅と周波数を変えた純音を作成し、振幅もしくは周波数をボタン押し課題により弁別させる課題を fMRI により計測している。この結果では、振幅弁別課題遂行時中の脳活動を安静状態と比較すると、大脳両半球の下頭頂小葉、右半球の上側頭回と中前頭回、左半球の下前頭回と運動感覚野、小脳右半球に賦活が見られ、周波数弁別課題において、大脳両側半球の上側頭回、下頭頂小葉、左半球の下前頭回と運動感覚野、小脳右半球に賦活が見られたと報告している。また、Robson ら⁽⁴⁾は、計測対象を聴覚野に限定し、全体の持続時間が 6s~25.5s である連続した 100ms のトーンバーストを刺激として、同一スライスを連続的に撮影することで、聴覚野における BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) 信号強度の時間変化を計測している。

以上の連続音の聴音時の脳内賦活部位の推定と異なり、音のみならず言語を使用した識別や認知の解明を目的とした課題を設定した報告は、比較的多く存在する。その中でもよく知られているオドボール課題は、通常 2 種類の刺激の一方を標的刺激として、被験者にタスクを与えることで実行される課題である。この課題に関する報告は、多く存在する。Linden ら⁽⁵⁾は、聴覚刺激において刺激の種類やタスクに関わらず、縁上回、前頭弁蓋及び両側の島皮質さら

に頭頂及び前頭部の限局した領域で賦活が見られたと報告している。また、Stevens ら⁽⁶⁾は、標的刺激において、中前頭回や帯状回前部と共に前頭及び頭頂皮質の活動を報告している。他にも Opitz ら⁽⁷⁾は、上側頭回と線条体近傍で賦活が見られたとしている。Yoshiura ら⁽⁸⁾は、音刺激特有に見られる賦活部位は、両側の横側頭回と後上側頭平面であったと報告している。このようにタスクを伴う課題においては、音の感知のみならず、注意、識別、認知に関連する部位が活動すると考えられ、脳内の様々な部位が賦活されることを示している。

本論文では、fMRI における変調音を聴音した際の脳内での活動部位を明らかにするため、2 つの実験を行った。1 つは、SAM 音聴音時における脳内の活動部位を調べるために SAM 音聴音時と無音時の比較、もう一つは、変調に関連する脳内活動を捉えるために SAM 音聴音時と非変調音 (正弦波音) 聴音時の比較をおこなった。

2. 実験手法

今回使用した実験装置は、高速切替傾斜磁場コイルシステム (EPI (Echo-Planar)-GE Type 撮影プロトコル) を備える 1.5T 超電導磁場型 MRI スキャナー (日立メディコ製: Stratis-II) を使用した。BOLD contrast を強調するため、T2*強調 EPI-GE Type シーケンスの画像撮影を行い、28 slices×10 volumes×6 epochs (3 on/off cycles) トータル 10080 枚 (60 volumes) の EPI 機能的画像を撮影した。撮影条件を下記に示す。

- FOV: 225 mm
- TR/TE: 4600/47.5 ms
- Inter TR Time: 400 ms
- Total Scan Time: 5.00 min
- Flip Angle: 90 degree
- Slice Thickness: 4.0 mm
- Slice Gap: 1.0 mm

EPI 機能的画像 (以下、EPI 画像) は身体縦軸 (Z 軸) に対し 1 スライスを 5 mm ずつ (内スライス厚さ 4 mm) の配列とし、28 スライスを撮影して、脳全体をカバーした。EPI 画像の解像度 (Voxel) は $4 \times 4 \times 5 \text{ mm}^3$ である。

今回、次の 2 種類の実験を行った。一つは、SAM 音聴音時 vs. 無音時、もう一つは、SAM 音聴音時 vs. 非変調音聴音時である。

図 1 に使用した SAM 音及び非変調音を示す。なお、SAM 音は次式で生成され、後者の実験の際は、SAM 音と非変調音の音圧は一致させた。

$$\text{SAM}(t) = \{1 + m \sin(2\pi f_g t)\} \sin(2\pi f_c t) \cdots (1)$$

ここで、 $f_g=40(\text{Hz})$ 、 $f_c=1000(\text{Hz})$ とし、 m は変調指数であり 100% ($m=1$) とした⁽¹⁰⁾。

上記の実験において、前者の実験により、変調音のみならず音刺激に関連する脳内賦活が得られ、後者では変調に関連する脳内賦活部位が観測されると推測される。実験で

図 1 刺激音

Fig. 1. Stimulus tone.

は、50 秒ごとに交互に比較する 2 状態を切り替え、これを 3 サイクル行うことで、トータル 6 回繰り返した。被験者は、男性 8 例で年齢は、21~32 歳 ($ave.=22.9$ 歳, $s.d.=3.7$ 歳) の聴力正常者である。fMRI 計測時は、被験者の動きを制限し、覚醒状態を保つため開眼状態により計測された。なお、計測時の被験者の様子は、計測室外でモニターした。音波形データはサンプリング周波数 44.1kHz の wav ファイル形式に変換され、Windows Media Player にて再生、音圧 90dB で被験者の両耳に入力された。以上により、計測された fMRI データから、各被験者に対する脳内賦活部位は、SPM99 (Stastical Parametric Mapping)⁽¹¹⁾ により解析され、2 つの状態間における脳内活動が統計的に有意である部位を得た。その後、全被験者のデータを用いて t 検定による有意差検定により、賦活部位を求め、本実験における結果とした。

3. 実験結果

実験における結果を SAM 音聴音時 vs. 無音時に対する結果を図 2 に、SAM 音聴音時 vs. 非変調音聴音時に対する結果を図 3 に示す。図において矢状面 (左上)、冠状面 (右上)、横断面 (左下) をそれぞれ示している。また、表 1 では、標準脳である Talairach の座標系を用いて、有意差の大きい順から t 値、領域内の中心座標及びその位置のもしくは周辺の部位名を示している。図 2 に示す SAM 音聴音時 vs. 無音時の条件では、SAM 音聴音時と無音時の BOLD

図 2 SAM 音聴音時の脳内賦活部位 (vs. 無音時)

Fig. 2. Activations in the brain during hearing SAM tone (vs. silence).

図 3 SAM 音聴音時の脳内賦活部位 (vs. 非変調音)

Fig. 3. Activations in the brain during hearing SAM tone (vs. unmodulated tone).

信号強度に対して t 検定による有意差検定を行い、閾値を $t=3.44$ ($p<0.0037$, uncorrected) の条件で賦活部位を表示した。結果として、ブロードマン 9 野の一部と 10 野に相当する右内側前頭回、左上前頭回、右中前頭回及び両側のブロードマン第 41, 42 野を含む領域において賦活が認められた。ブロードマン 9 野及び 10 野は、ワーキングメモリの制御に関連した部位であると考えられている⁽¹²⁾。さら

表 1 賦活部位

Table 1. Activated area.

Analysis condition	t-value	centre position of Tarailach coordinates (x,y,z) [mm]	Activation Area (Brodmann Area)
SAM vs. silence	5.33	(4,60,-6)	Right Medial Frontal Gyrus (BA10)
	4.76	(-10,56,-8)	Left Superior Frontal Gyrus (BA10)
	3.68	(-24,56,-4)	Left Superior Frontal Gyrus
	5.20	(44,52,18)	Right Middle Frontal Gyrus (BA10)
	4.67	(60,-26,10)	Right Superior Temporal Gyrus (including BA41, 42)
	4.61	(-52,-26,10)	Left Transverse Temporal Gyrus (including BA41, 42)
	3.66	(8,66,20)	The Area including Right Medial Frontal Gyrus
	3.54	(52,22,-16)	Right Superior Temporal Gyrus
	3.44	(38,42,-18)	Right Frontal Lobe
SAM vs. unmodulated tone	3.10	(18,18,64)	The Area including Right Superior Frontal Gyrus (BA6)
	2.98	(-16,-46,46)	Left Precuneus
	2.84	(-8,-54,44)	Left Precuneus (BA 7)
	2.59	(8,-68,40)	Right Precuneus (BA 7)
	2.85	(50,-56,48)	The Area including Right Inferior Parietal Lobule (BA40)
	2.78	(-54,-54,48)	The Area including Left Inferior Parietal Lobule (BA40)
	2.77	(6,64,6)	Right Medial Frontal Gyrus
	2.70	(-14,18,62)	Left Superior Frontal Gyrus
	2.49	(-8,30,-14)	Left Medial Frontal Gyrus
	2.48	(26,52,-12)	Right Superior Frontal Gyrus

にブロードマン第 41, 42 野は、それぞれ第一次及び第二次聴覚野として知られている部位である。

また、変調音 vs. 非変調音では、閾値を $t=2.48$ ($p<0.0021$, uncorrected) の条件で解析を行ったところ、図 3 に示すように、ブロードマン 6 野を含む両側の上前頭回、7 野に相当する楔前部、両側の内側前頭回と下頭頂小葉において賦活が確認された。ブロードマン 6 野に相当する上前頭回は、眼球運動に関連する部位であり、7 野に相当する楔前部は、視野に関した運動を認識する働きがあると言われている。

また、ブロードマン 40 野である下頭頂小葉の縁上回は、近接する視覚領野や感覚性言語野との間に連合繊維からなる密な連絡路をもつことから、知覚の分析や統合に関連していると言われる。

これらの実験結果に対する考察を次節において行った。

4. 考 察

まず、今回行った 2 つの実験について、それぞれ考察、検討する。SAM 音聴音時 vs. 無音時では、ブロードマン 9 野の一部と 10 野に相当する右内側前頭回、左上前頭回、右中前頭回及び両側のブロードマン第 41, 42 野を含む領域において賦活が見られた。ブロードマン 9 野及び 10 野は、ワーキングメモリの制御に関連した部位であり、ブロードマン第 41, 42 野は、それぞれ第一次及び第二次聴覚野である。

聴覚野の賦活は、今回の実験において刺激として聴覚刺激が用いられたことから妥当な結果であり、本実験手法に問題のないことを示していると考えられる。

R.Schoonhoven ら⁽²⁾による変調波聴音時の MEG によるダイポール解析結果では、聴覚野に賦活がみられ、これは変調周波数に関わらず観測されたと報告している。また、川島ら⁽³⁾の報告では、音の振幅と周波数を変えた純音を

作成し、振幅もしくは周波数をボタン押し課題により弁別させる課題を fMRI で計測した結果、振幅弁別課題遂行時中の脳活動を安静状態と比較すると、大脳両半球の下頭頂小葉、右半球の上側頭回と中前頭回、左半球の下前頭回とタスクにボタン押しを課したことによる運動感覚野、小脳右半球の賦活が報告されている。また、周波数弁別課題では、大脳両側半球の上側頭回、下頭頂小葉、左半球の下前頭回と運動感覚野、小脳右半球に賦活が見られたと報告している。

しかし、我々の研究では、上記の報告同様聴覚野の賦活のみならず、中前頭回周辺にも賦活が確認された。この部位はブロードマン 10 野に相当し、ワーキングメモリの制御に関連する部位として知られている。よって、この部位の賦活は、記憶機能となんらかの関係があることを示している。刺激識別・認識課題として広く知られている聴覚及び視覚刺激によるオドボール課題では、ワーキングメモリに関連するとされる DLPFC (DorsoLateral PreFrontal Cortex) が賦活される報告がなされている⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。しかし、今回の実験では、オドボール課題のような識別課題は課されていないことから、標的刺激との照合作業は必要ないと考えられる。この部位の賦活については、今後様々な実験を行い、検証を行う必要がある。

また、変調音 vs. 非変調音では、図 3 に示すように、ブロードマン 6 野を含む両側の上前頭回、7 野に相当する楔前部、両側の内側前頭回と下頭頂小葉において賦活が確認された。ブロードマン 6 野に相当する上前頭回は、眼球運動に関連する部位であり、7 野に相当する楔前部は、視野に関した運動を認識する働きがあると言われている。これらの部位は、共に目や視覚に関連した部位である。今回の実験は、聴覚実験ではあるが、被験者に眠気を誘発させない

ために開眼状態で行われたことによるものであると考えられる。また、通常は賦活部位は、2 状態間の BOLD 信号強度における有意差検定で得られるため、相殺されると考えられるが、SAM 音聴音時 vs. 非変調音聴音時では、SAM 音聴音時 vs. 無音時に比べ、2 状態間が類似しているため賦活部位を得るためには閾値を低く設定する必要がある。この影響も要因の一つであると思われる。

これらの部位以外で賦活が見られた内側前頭回は、Horovitz ら⁽¹⁵⁾ が、聴覚オドボール課題において、fMRI 計測による BOLD 信号の変化と ERP 計測による P300 成分の関連性を調べており、内側前頭回は P300 成分の出現と相関がある部位の 1 つであったことを報告している。このことから、音の識別や認知に関連している部位であると考えられる。また、ブロードマン 40 野に相当する下頭頂小葉の縁上回は、近接する視覚領野や感覚性言語野との間に連合繊維からなる密な連絡路をもつことから、知覚の分析や統合に関連していると言われる。R.Schoonhoven ら⁽²⁾ の MEG の研究や川島ら⁽³⁾ の振幅及び周波数弁別課題においても賦活が報告されている。振幅変調には言語に含まれる周波数等のなんらかの要素を含んでいる可能性も考えられる。

今回の実験結果から、SAM 音聴音時では、他の音刺激同様、聴覚野の活動が確認された。また、図 3 に示す変調音 vs. 非変調音の結果で得られた賦活部位の中で、実験条件によるものと考えられる視覚に関連した活動部位を除いて考えると両側の内側前頭回で変調成分の認知が行われ、ブロードマン 40 野に相当する下頭頂小葉の縁上回は、振幅変調の知覚に関連しているものと考えられる。

5. ま と め

我々は今回、他覚的聴力検査として注目されている AMFR の刺激音である SAM 音を用いて SAM 音聴音時の脳内活動部位について fMRI を用いて計測を行った。この実験は、SAM 音聴音時 vs. 無音時の条件と SAM 音聴音時 vs. 非振幅変調音聴音時の 2 条件で行われた。

前者では、ブロードマン 9 野の一部と 10 野に相当する右内側前頭回、左上前頭回、右中前頭回及びブロードマン第 41, 42 野に相当する領域を含む両側の聴覚野で賦活が見られた。一方後者では、ブロードマン 6 野を含む両側の上前頭回、7 野に相当する楔前部、両側の内側前頭回と下頭頂小葉において賦活が確認された。

前者の実験より、聴覚野に賦活部位が検出されていることから、実験条件に問題がないことを示していると考えられる。しかしながら、ブロードマン 9 野の一部と 10 野に相当する右内側前頭回の賦活に対する意味付けについては、今後の検討課題として残った。

後者の実験より変調に関連する部位が検出されたが、今回の実験では、被験者が眠気を誘発しないように開眼状態で行われたためであると考えられる眼球運動や視覚に関連する部位の賦活も計測された。これらを除外して考えると、

両側の内側前頭回で変調成分の認知が行われ、下頭頂小葉は、振幅変調の知覚に関連する部位であると推察された。

今後、例数を増やし、より詳細な検討を行い、AMFR の他覚的聴力検査への適用に繋げたいと考えている。

(平成 16 年 1 月 5 日受付, 平成 16 年 6 月 10 日再受付)

文 献

- (1) M. Aoyagi, T. Kiren, Y. Kim, Y. Suzuki, T. Fuse, and Y. Koike: "Frequency specificity of amplitude-modulation-following response detected by phase spectral analysis", *Audiology*, Vol.32, No.5, pp.293-301 (1993)
- (2) R. Schoonhoven, C.J.R. Boden, J.P.A. Verbunt, and J.C. de Munck: "A whole head MEG study of the amplitude-modulation-following response: phase coherence, group delay and dipole source analysis", *Clinical Neurophysiology*, Vol.114, pp.2096-2106 (2003)
- (3) 川島隆太: 高次機能のブレインイメージング, 医学書院 (2002)
- (4) M.D. Robson, J.L. Dorosz, and J.C. Gore: "Measurements of the temporal fMRI response of the human auditory cortex to trains of tones", *Neuroimage*, Vol.7, pp.185-198 (1998)
- (5) D.E. Linden, D. Prvulovic, E. Formisano, M. Vollinger, F.E. Zanella, R. Goebel, and T. Dierks: "The functional neuroanatomy of target detection: an fMRI study of visual and auditory oddball tasks", *Cereb Cortex*, Vol.9, No.8, pp.815-823 (1999)
- (6) A.A. Stevens, P. Skudlarski, J.C. Gatenby, and J.C. Gore: "Event-related fMRI of auditory and visual oddball tasks", *Magn Reson Imaging*, Vol.18, No.5, pp.495-502 (2000)
- (7) B. Opitz, A. Mecklinger, D.Y. Cramon, and F. Kruggel: "Combining electrophysiological and hemodynamic measures of the auditory oddball", *Psychophysiology*, Vol.36, No.1, pp.142-147 (1999)
- (8) T. Yoshiura, J. Zhong, D.K. Shibata, W.E. Kwok, D.A. Sheier, and Y. Numaguchi: "Functional MRI study of auditory and visual oddball tasks", *Neuroreport*, Vol.10, No.8, pp.1683-1688 (1999)
- (9) K.A. Kiehl and P.F. Liddle: "An event-related functional magnetic resonance imaging study of an auditory oddball task in schizophrenia", *Schizophr. Res.*, Vol.48, pp.159-171 (2001)
- (10) Brian C.J. Moore: An introduction to the psychology of hearing, academic press (2003)
- (11) K.J. Friston: "Statistical Parametric Mapping", <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>
- (12) 芋阪満里子: 脳のメモ帳ワーキングメモリ, 新曜社 (2003)
- (13) G. McCarthy, M. Luby, P. Gore, and P. Goldman-Rakic: "Infrequent events transiently activate human prefrontal and parietal cortex as measured by functional MRI", *J. Neurophysiol.*, Vol.77, pp.1630-1634 (1997)
- (14) V.P. Clark, S. Fannon, S. Lai, R. Benson, and L. Bauer: "Responses to rare visual target and distractor stimuli using event-related fMRI", *J. Neurophysiol.*, Vol.83, No.5, pp.3133-3139 (2000)
- (15) S.G. Horovitz, P. Skudlarski, and J.C. Gore: "Correlations and dissociations between BOLD signal and P300 amplitude in an auditory oddball task: a parametric approach to combining fMRI and ERP", *Magnetic Resonance Imaging*, Vol.20, pp.319-325 (2002)
- (16) G.H. Glover: "Deconvolution of impulse response in event-related BOLD fMRI", *Neuroimage*, Vol.9, pp.416-429 (1999)
- (17) N.K. Logothetis, J. Pauls, M. Augath, T. Trinath, and A. Oeltermann: "Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal", *Nature*, Vol.412, pp.150-157 (2001)
- (18) K.M. Thomas, P.L. King, and P.L. Franzen: "A developmental functional MRI study of spatial working memory", *Neuroimage*, Vol.10, pp.327-338 (1999)
- (19) T.S. Braver, J.D. Cohen, and L.E. Nystrom: "A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory", *Neuroimage*, Vol.5, pp.49-62 (1997)
- (20) M.M. Mesulam: "Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention", *language, and mem-*

- ory, *Ann Neurol*, Vol.28, pp.597-613 (1990)
- (21) N. Kanwisher, P. Downing, R. Epstein, and Z. Kourtzi: "Functional Neuroimaging of Visual Recognition", In: "Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition", Chapter 5, Ed:R.Cabeza, A.Kingstone, MIT Press (2001)
- (22) B.A. Ardekani, S.J. Choi, G.A. Hossein-Zadeh, B. Porjesz, J.L. Tanabe, K.O. Lim, R. Bilder, J.A. Helpen, and H. Begleiter: "Functional magnetic resonance imaging of brain activity in the visual oddball task", *Brain Res Cogn Brain Res*, Vol.14, No.3, pp.347-356 (2002)
- (23) V. Menon, J.M. Ford, K.O. Lim, G.H. Glover, and A. Pfefferbaus: "Infrequent events transiently activate human prefrontal and parietal cortex as measured by functional MRI", *J. Neurophysiology*, Vol.77, pp.1630-1634 (1997)

深見 忠典 (正員) 1971 年生。1994 年筑波大学第三学群情報学類卒業。1999 年同大学院工学研究科電子・情報工学専攻修了。同年茨城県立医療大学保健医療学部放射線技術科学科助手, 2001 年山形大学工学部応用生命システム工学科助手。博士(工学)。主として脳波, 誘発電位の時系列処理, 医用画像処理, 超音波計測に関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本エム・イー学会, 日本超音波医学会, IEEE 等の会員。

島田 尊正 (正員) 1967 年生。1996 年筑波大学大学院工学研究科修了。1998 年度まで日本学術振興会特別研究員。1999 年東京電気大学超電導応用研究所助手, 2002 年同大学情報環境学部情報環境デザイン学科講師。医用電子工学の分野において, ニューラルネットワーク, ファジィ等を用いた脳波解析, MRI 画像解析, 信号処理等の研究に従事。博士(工学)。日本エム・イー学会, 電子情報通信学会, IEEE, コンピュータ支援画像診断学会等の会員。

赤塚 孝雄 (非会員) 1939 年生。1964 年東京大学工学部卒業。東京大学工学部計数工学科助手, 筑波大学基礎医学系講師, 山形大学工学部助教授を経て, 1984 年同大学工学部電子情報工学科教授。この間, カリフォルニア大学アーバイン校客員研究員, 高エネルギー物理学研究所客員教授などを併任。画像計測, 医療画像処理, 生体計測, 画像化システム, 情報ネットワークなどの研究に従事。工学博士。IEEE, SPIE, 日本エム・イー学会, 日本医用画像工学会等の会員。計測自動制御学会 Fellow。

斎藤 陽一 (非会員) 1930 年生。1952 年東京大学医学部医学科卒業。1953 年同附属病院神経科医局入局。1955 年同助手。1962 年ハーバード大学研究員として研究に従事。1966 年東京大学講師。同附属病院外来診療所医長。同大学院医学研究科担当。1989 年同大学定年退職。医療法人社団白陽会駒込神経クリニック及び脳波計量解析研究所開設。生体信号の時系列解析全般に興味を持つ。医学博士。