

視聴覚間選択的注意による脳内情報処理修飾の脳磁界による計測 Neuromagnetic measurement of the modulation of the brain activity by audio-visual intermodal attention

岩木 直, 外池 光雄, 山口 雅彦, 浜田 隆史
Sunao IWAKI, Mitsuo TONOIKE, Masahiko YAMAGUCHI, Takashi HAMADA

電子技術総合研究所 大阪ライフエレクトロニクス研究センター
Life Electronics Research Center, Electrotechnical Laboratory

Abstract: In this study, we evaluated the effects of the intermodal selective attention on the neural activity in the human brain during the visual and auditory discrimination tasks using MEG measurements. MEG signals were recorded using whole-head SQUID system during the subjects performed the spatial and non-spatial visual/auditory discrimination tasks under three attentional conditions: (1) attention to visual modality, (2) attention to auditory modality, and (3) attention to both modalities. Neural activities for each condition were evaluated by source estimation using the equivalent current dipole and the spatial filtering technique. Estimated source activity showed clear modality-specific modulation in the primary auditory region and stimulus-feature-specific modification in the contralateral extrastriate visual region by intermodal attentional conditions.

1. はじめに

生体は感覚器を通して得られる多くの情報の中から、目的とする行動に必要なものを選択的に処理することにより、限られた処理資源の下で、適切な行動をとることができる。この情報の選択の際に、注意の機構が働くと考えられている。

これまでに、視・聴覚両モダリティ間における選択的な注意がヒトの脳内処理におよぼす影響に関して、神経生理学的な[1]あるいは脳機能イメージングの手法を用いた[2]多くの研究が行われており、あるモダリティへの選択的注意による、頭皮上で計測された ERP (event-related potential) の増大や rCBF (regional cerebral blood flow) の増加等が報告されている。しかし、それぞれ空間的解像度および時間的解像度の制約のため、脳内各領域の神経活動に対する、モダリティ間における選択的注意の効果の時空間的特性は明らかでない。

本研究では、視覚-聴覚モダリティ間での選択的注意あるいは注意の分割が、視聴覚情報処理に及ぼす影響を、脳内神経活動源分布の観点から、高い時間的解像度で調べることを目的とし、MEG を用いた実験と等価電流双極子 (ECD: equivalent current dipole) および空間フィルタリングを用いた解析を行った。この結果、一次聴覚野および extrastriate 視覚領域における、刺激モダリティと刺激の特徴(feature)に依存した、注意による脳内活動の修飾を明らかにした。

2. 方法

2.1 課題

8名の被験者に対し、以下に示す3種類の注意条件((a)~(c))下における、2種類の視-聴覚刺激弁別課題(空

間的弁別課題(A)および非空間的弁別課題(B))を課した。

[注意条件]

- (a) 視覚への選択的注意条件 (attention to visual)
視覚刺激のみに注意を向け、できるだけ速く反応
- (b) 聴覚への選択的注意条件 (attention to auditory)
聴覚刺激のみに注意を向け、できるだけ速く反応
- (c) 視覚-聴覚での注意分割条件 (neutral)
視覚・聴覚刺激両方にできるだけ速く反応

[課題]

- (A) 視覚位置-聴覚左右弁別課題 (空間的課題)
被験者の前方 1 m の位置にある固視点の左右 5.7° に配置した赤色 LED のいずれかを 200 ms 点灯, あるいは左 or 右耳に 1000 Hz の tone burst を 200 ms 呈示する。呈示は等確率(各 25%)。
被験者は、左視野/左耳への刺激に対しては右手人差指、右視野/右耳への刺激に対しては右手中指を動かすことにより反応する。
- (B) 視覚色-聴覚周波数弁別課題 (非空間的課題)
固視点の左 5.7° に配置した 2 色 LED(赤 or 緑)の 1 色を 200 ms 点灯, あるいは左耳に 1000 or 2000 Hz の tone burst を 200 ms 呈示する。呈示は等確率(各 25%)。
被験者は、緑色 LED/高音の刺激に対しては右手人差指、赤色 LED/低音の刺激に対しては右手中指を動かすことにより反応する。

2.2 データ解析

上記課題遂行中の被験者の反応時間を計測するとともに、122チャンネル全頭型 SQUID システムを用いて脳磁

界計測を行った。測定された磁界は、各注意条件 課題 および刺激種類ごとにそれぞれ 50 回以上加算平均し、側頭葉聴覚野および側頭-後頭葉視覚野における脳内活動源解析を行った。解析に用いた座標系は、左右の耳介前点を結んだ線を x 軸(右向きに正)、鼻根点を通る x 軸への垂線を y 軸(前向きに正)、x-y 軸の交点を通る x-y 平面の法線を z 軸(上向きに正)とした。

刺激と同側および反対側一次聴覚野内に配置した 2 個の ECD により、良好なモデリングが可能な、聴覚刺激誘発脳磁界の潜時およそ 100ms の成分(N100m)について、これら 2 個の ECD の位置および大きさを求め、ANOVA を用いて注意条件による修飾の効果を調べた。

一方、空間的な分布がより複雑で、ECD を用いた簡単なモデルでは表現が難しい視覚刺激誘発脳磁界については、線形制約最小分散 (LCMV: linearly constrained minimum variance)空間フィルタ[3]を用いた神経活動源分布推定を行った。この手法は、脳内の特定位置における神経活動による測定磁界信号のみを通過させ、それ以外の位置に由来する信号を大きく減衰させるような空間フィルタの集合を構成することにより実現される。活動源の数や同在性に関する先見的な仮定を必要としないため、ECD ではモデリングが難しい神経活動推定に有利である。本実験では、文献[3]に従って、空間フィルタを用いて脳内の 1190 点における神経活動指標 (NAI: neural activity index; 各点での活動強度を背景ノイズとの比として表し、Neutral 条件における最大値で規格化したもの) を計算し、striate および extrastriate 視覚領域の活動源分布イメージングを行った。さらに、注意による神経活動の修飾効果の ANOVA による検討を行った。

3. 結果および考察

3.1 一次聴覚野での聴覚選択的注意時の神経活動増大

空間的弁別課題 (A)、非空間的弁別課題 (B) いずれの課題でも、聴覚刺激により誘発される聴覚野の神経活動に、聴覚への選択的注意条件による増大が見られた。

典型的な被験者の側頭部における MEG 波形を Fig.1

に示す。これは、視覚位置-聴覚左右弁別課題において、被験者の左耳に与えられた聴覚刺激に誘発され反対側側頭部で計測された MEG 波形で、聴覚への選択的注意条件で N100m 成分ピーク振幅の増大を示している。

課題 (A)、(B) に対する、刺激と反対側聴覚野における N100m 活動源推定結果 (推定された ECD の位置、大きさおよびピーク潜時) を、それぞれ Table 1 および Table 2 に示す。両課題とも、N100m ECD の位置および活動のピーク潜時には、視覚あるいは聴覚への選択的注意による有意な差が観測されなかったのに対し、ECD 強度は聴覚への選択的な注意により有意に大きくなった。刺激と同側の聴覚野でも同様の結果が得られた。この結果は、聴覚への選択的注意による、一次聴覚野における刺激モダリティに依存した神経活動の修飾を示している。

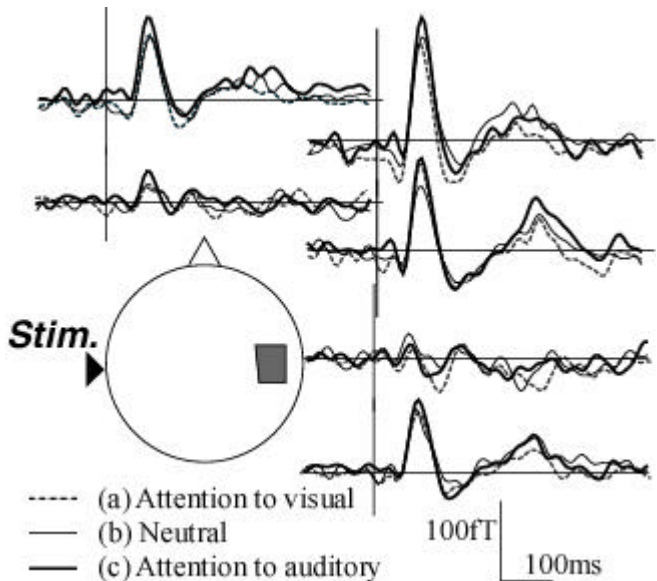


Fig.1 Superimposed brain magnetic field responses to auditory stimuli to the left ear in the visual/auditory spatial discrimination task under three attentional conditions for the typical subject, which were measured at 6 channels on the contralateral temporal region.

Table 1. Mean±SD of the estimated ECD locations, moments, and latencies corresponding to contralateral activation in the primary auditory cortex for the auditory spatial discrimination task (Task (A)) under three attentional conditions. Statistical significance was measured by ANOVA with Dunnet's post-hoc test.

Attentional condition	ECD location (mm)			Q (nAm)	Latency (ms)
	x	y	z		
Attention to auditory	57.7 ± 1.8	22.2 ± 4.4	67.1 ± 2.3	29.2 ± 2.6 ^{*1}	96.8 ± 6.3
Neutral	58.3 ± 1.8	20.2 ± 3.8	66.6 ± 2.1	25.9 ± 2.0	94.5 ± 6.8
Attention to visual	58.9 ± 2.0	20.7 ± 4.0	66.0 ± 1.3	25.4 ± 2.3	94.3 ± 5.5

^{*1} P < 0.001

Table 2. Mean±SD of the estimated ECD locations, moments, and latencies corresponding to contralateral activation in the primary auditory cortex for the auditory non-spatial discrimination task (Task (B)) under three attentional conditions. Statistical significance was measured by ANOVA with Dunnet's post-hoc test.

Attentional condition	ECD location (mm)			Q (nAm)	Latency (ms)
	x	y	z		
Attention to auditory	58.7 ± 2.3	14.9 ± 3.1	58.8 ± 2.3	23.6 ± 0.8 ^{*2}	99.6 ± 5.5
Neutral	59.2 ± 2.2	18.4 ± 4.6	60.1 ± 3.5	20.2 ± 1.2	102.0 ± 8.6
Attention to visual	60.8 ± 2.2	16.5 ± 6.3	60.2 ± 1.2	19.9 ± 0.8	103.6 ± 7.8

^{*2} P < 0.01

3.2 Extrastriate 視覚領域での聴覚選択的注意時の神経活動増大

空間的弁別課題(A)では後側頭部(Brodmann's area: BA 19,37)で、非空間的弁別課題(B)では下部側頭部(BA20,21)で、視覚刺激により誘発される神経活動に、視覚への選択的注意条件による増大が見られた。

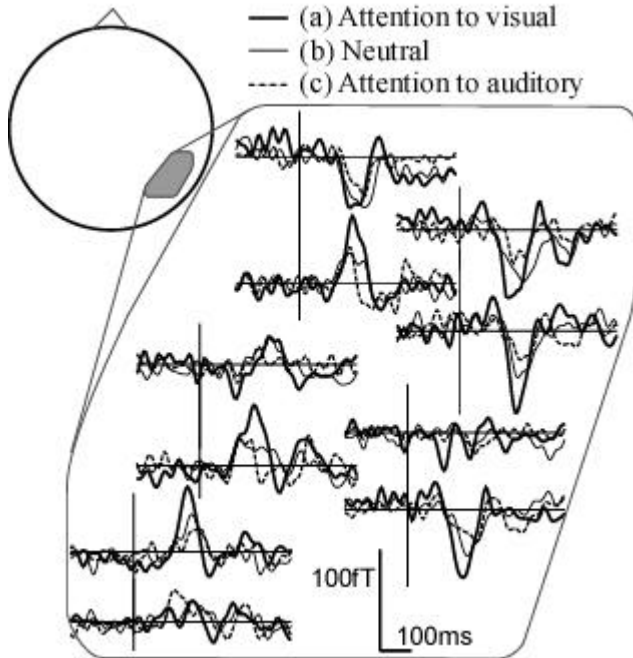


Fig.2 Superimposed brain magnetic field responses to visual stimuli to the left visual field in the visual/auditory spatial discrimination task under three attentional conditions for the typical subject, which were measured at 10 channels on the contralateral occipito-temporal region.

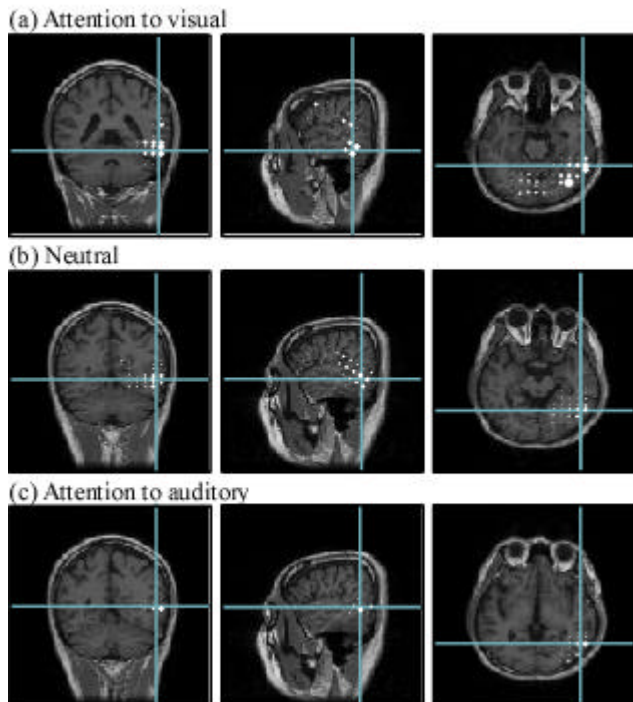


Fig.3 Estimated neural activity distribution for three attentional conditions at 200ms after the visual stimulus to the left visual field in the spatial discrimination task.

Fig.2 に空間的弁別課題における、典型的な被験者の左視野刺激に対するMEG 波形を示す。刺激と反対側の後側頭部で計測された MEG 信号に、注意条件による大きな変化が観測された。同じ被験者の、空間フィルタ法を用いた活動源推定結果を Fig.3 に示す。この図は、視覚刺激呈示後 200ms における、脳内活動源分布推定結果を示している。刺激と反対側の後側頭部(BA 19,37)における神経活動に、注意条件による大きな差が観測された。

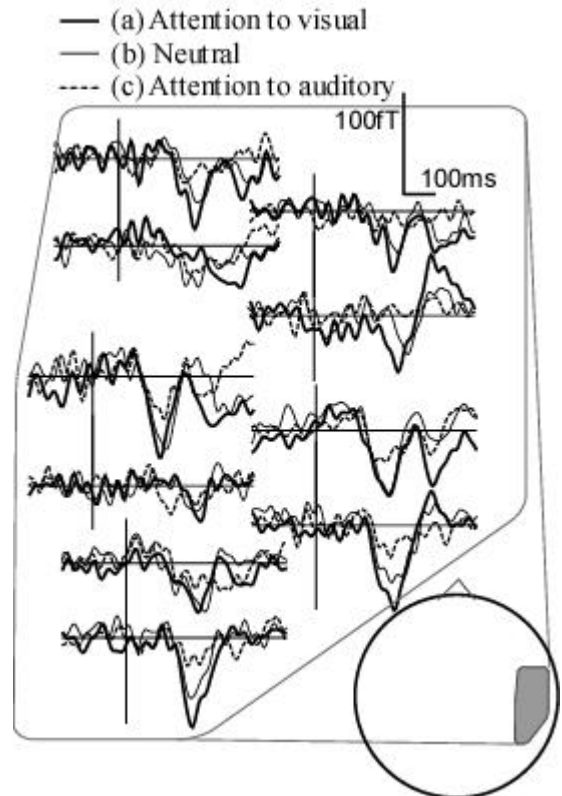


Fig.4 Superimposed brain magnetic field responses to visual stimuli by the red LED in the visual/auditory non-spatial discrimination task under three attentional conditions for the typical subject, which were measured at 10 channels on the contralateral occipito-temporal region.

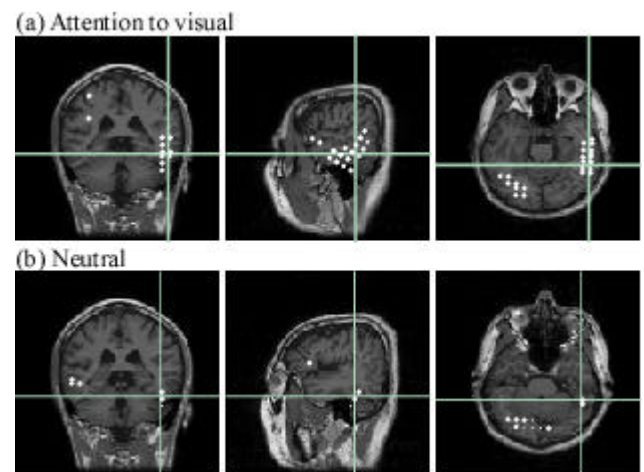


Fig.5 Estimated neural activity distribution at 220ms after the visual stimulus by the red LED in the non-spatial discrimination task. No activation was observed in the "attention to auditory" condition.

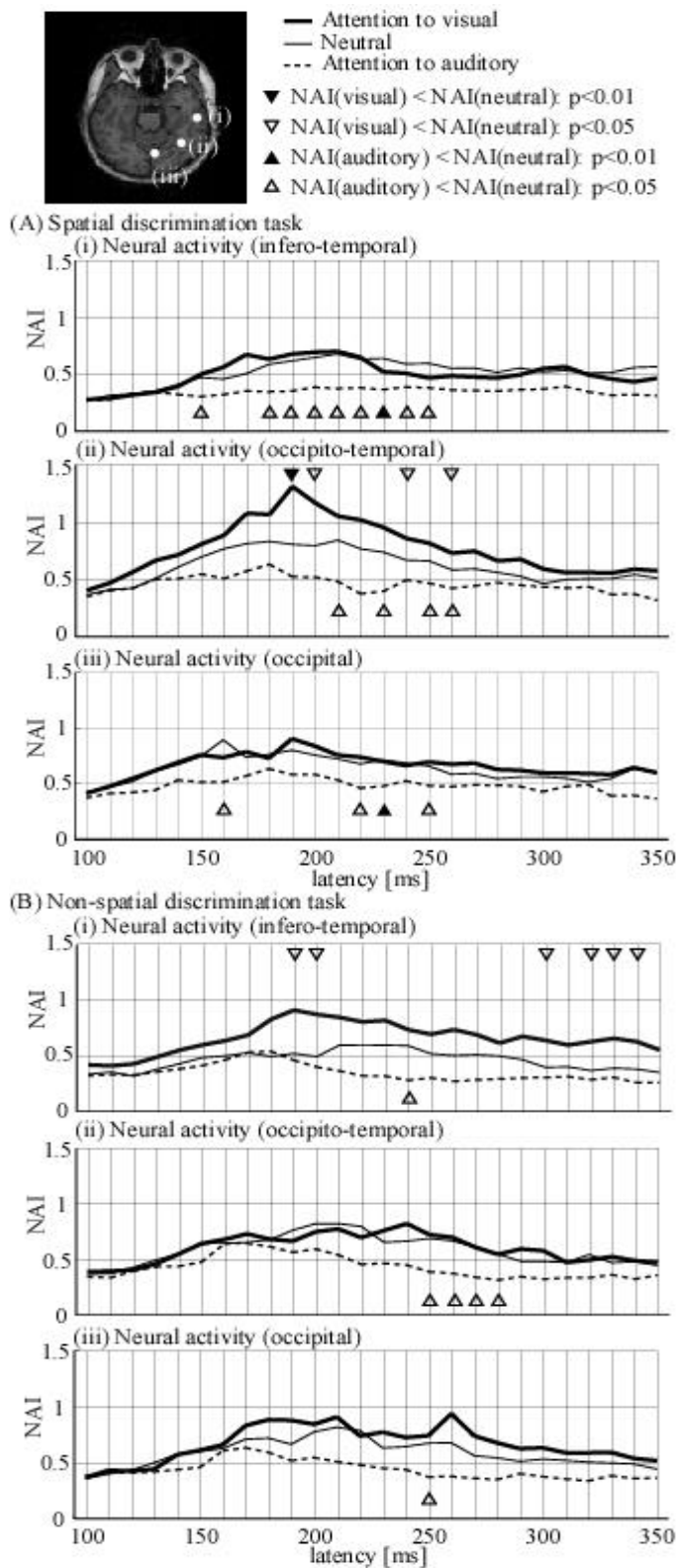


Fig.6 Inter-subject statistical analysis of the neural activity index corresponding to the visual stimuli during (A) spatial task and (B) non-spatial task, estimated in the (i) infero-temporal region, (ii) occipito-temporal region, and (iii) occipital region. Each line shows the grand average of the estimated NAI for 8 subjects. The triangles show the latencies of statistical significant changes between the auditory/visual selective attention condition and the neutral condition, detected by ANOVA with Dunnett's test.

Fig.4 および Fig.5 に、非空間的弁別課題における、典型的な被験者の赤色 LED 視覚刺激に対するMEG 波形と空間フィルタ法を用いた活動源推定結果を示す。刺激と反対側の側頭部で計測された MEG 信号に、注意条件による大きな変化が現れた。また、視覚刺激呈示後 220ms における脳内活動源分布推定の結果、刺激と反対側の側頭葉下部(BA 20,21)における神経活動に、注意条件による大きな差が観測された。

さらに、striate および extrastriate 視覚領域における、各注意条件による神経活動の変化の、被験者 8 名全員のデータを用いた統計解析結果を Fig.6 に示す。空間的弁別課題、非空間的弁別課題いずれも、聴覚への選択的注意により、視覚刺激に対する神経活動が、潜時160-280ms で striate ,extra-striate 両領域において有意に減少した。これに対して、視覚への選択的注意条件では、extrastriate 領域における刺激特徴(feature)に依存した神経活動の増大が観測された。すなわち空間弁別課題では後側頭部(BA 19)のみで、非空間的(色)弁別課題では側頭葉下部(BA 20)のみで、視覚への選択的注意によって、神経活動が潜時 180-340ms で有意に増加した。また、注意条件間での神経活動の有意な差が検出された潜時は、空間的課題の方が非空間的課題に比べて短い傾向があった。これらの結果は、extrastriate 視覚領域における、視覚モダリティへの選択的注意による、刺激特徴に依存した神経活動の修飾を示している。

以上の結果は、聴覚または視覚モダリティ内における選択的注意についての研究 [4][5][6]で報告されている、刺激モダリティあるいは刺激特徴に依存した神経活動の修飾の効果が、視-聴覚モダリティ間における選択的注意でも観測されることを示しており、さらにその効果の時空間的性質を高い時間/空間解像度で明らかにしたものである。

4. 結論

本研究では、視覚-聴覚モダリティ間での選択的注意による脳内神経活動の修飾を、高い時間/空間的解像度で調べることを目的とした。この結果、一次聴覚野および extrastriate 視覚領域における、刺激モダリティと刺激の特徴(feature)に依存した、注意による脳内活動の修飾を明らかにした。

参考文献

- [1] Woods, D.L. *et al.*: Intermodal selective attention. I. Effects on event-related potentials to lateralized auditory and visual stimuli, *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, **82**: 341-355 (1992).
- [2] O'Leary, D.S. *et al.*: Auditory and visual attention assessed with PET, *Hum. Brain Mapp.*, **5**: 422-436 (1997).
- [3] Van Veen, B.D. *et al.*: Localization of brain electrical activity via linearly constrained minimum variance spatial filtering, *IEEE Trans Biomed Eng.*, **44**: 867-880 (1997).
- [4] Woldorff, M.G. *et al.*: Modulation of early sensory processing in human auditory selective attention, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **90**: 8722-8726 (1993).
- [5] Hillyard, S.A. *et al.*: Event-related brain potentials in the study of visual selective attention, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **95**: 781-787 (1998).
- [6] Corbetta, M. *et al.*: Attentional modulation of neural processing of shape, color, and velocity in humans, *Science*, **248**: 1556-1559 (1990).