

タイトル	ランダムドットステレオグラム観察時における時空間的脳活動のモデリング
著者	豊島，恒；山ノ井，高洋；山崎，敏正；大西，真一
引用	北海学園大学工学部研究報告，34：129-142
発行日	2007-02-20

ランダムドットステレオグラム観察時における 時空間的脳活動のモデリング

豊 島 恒*, 山ノ井 高 洋*, 山 崎 敏 正**,
大 西 真 一*

Spatiotemporal Modeling of Human Brain Activities Observing on Random Dot Stereograms

Hisashi TOYOSHIMA*, Takahiro YAMANOI*, Toshimasa YAMAZAKI**
and Shin-ichi OHNISHI*

Abstract

Binocular disparity is one of the most important cues for depth perception in humans. Previously, some of the authors performed electroencephalogram (EEG) measurement in subjects viewing random dot stereograms (RDSs) with 3 binocular disparities : no, small or large disparity, and estimated the brain sites where the visual information was processed for human stereopsis, using equivalent current dipole source localization (ECDL) method. The results showed that : 1) the postcentral gyrus (PstCG) is involved in visual processing of stereopsis ; and 2) all-channel average EEGs converge and the convergence time for larger RDS disparity is longer than that for smaller one. Application of the ECDL method to the average data for small and large disparities revealed that the visual processing before the PstCG localization consists of two pathways : one is from V1 to V4 and then to the TE field ; and the other from V1 to the MT field and then to the PstCG. This result did not depend on the amount of disparity. After the PstCG localization, ECDs were localized to the left intraparietal sulcus (IPS). At the interval between the left IPS localization and the EEGs convergence, ECDs were located at both sides of the inferior frontal gyrus (IFG) and both sides of the middle frontal gyrus (MFG). For RDSs with large disparities, the IFG and MFG ECDs were estimated earlier than those for small disparities, while for large disparities the convergence time and the time when ECDs were localized to the IFG just before the convergence time were later than those for small disparities.

* 北海学園大学工学部電子情報工学科

* Department of Electronics and Information Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

** NEC市場開発推進本部 バイオIT事業推進センター

** NEC Corporation

1 はじめに

ヒトが認識する視覚刺激には物体の色、形、陰影、きめ、空間位置および動き、時間変化など様々な要因がある。ヒトの脳内では視覚刺激に対する情報は、まずに一次視覚野（V1）へ伝達され、V1以降の処理では、色、形およびきめの情報は腹側経路と呼ばれるV1～V4～TE野において処理がなされる。一方、空間位置および動きの情報は背側経路と呼ばれるV1～MT野～頭頂葉において処理がなされる。背側経路では、頭頂葉において左右の眼からの入力統合（視野統合）がなされ、その後は様々な高次処理が行われる。空間位置の認知では中前頭回（middle frontal gyrus：MFG）および下前頭回（inferior frontal gyrus：IFG）などの部位で行われるといわれている [1]。また視覚刺激を注視する際に眼球運動が生じるが、この際には眼球運動に関係する前頭眼野（frontal eye field：FEF）および上丘（superior colliculus：SC）で処理がなされる [2]。

これらの手がかりの中でも空間位置、特に奥行きを認知する際の支配的な手がかりとなるものは両眼視差である。両眼視差に関する脳内処理のこれまでの研究では、ヒトが立体視の認識を行う際には頭頂葉が関係しているといわれている。

著者らの一部は先行研究 [3] において、左右の眼に視差の存在する画像を独立して提示することにより立体視とほぼ等しい視覚刺激を生成し、この刺激を観察した際の被験者の脳波（electroencephalogram：EEG）を計測した。この実験によって得られたEEGを加算平均して求められた事象関連電位（event related potential：ERP）に対して等価電流双極子推定（equivalent current dipole source localization：ECDL）法によって脳内処理部位の推定を行い、視覚刺激の提示後、潜時400ms前後で頭頂葉の中心後回（postcentral gyrus：PstCG）付近にECDが推定されたことから、立体視に関わる脳内処理部位が頭頂葉で行われていると推定した。提示した視覚刺激の視差別に全被験者のgrand average波形を比較したところ、PstCGにECDが推定された後、すべてのチャンネルのERPが刺激提示前のベースラインに戻り（以後、この現象を便宜上ERPの収束と呼ぶ）、視差が大きい方がこの収束時刻が遅れることを観察した（Fig. 1）。この潜時とその直前の成分のピーク潜時との間を、ERPが収束に至る過程とした（Fig. 2）。

また、ヒトの脳内では視覚刺激に対する処理に関して空間位置の認知と同時に幾つもの処理が平行して行われていると考えられることから、PstCGにECDが推定された潜時の前後およびERPが収束するまでにECDが推定された部位と潜時について、6名の被験者から得られたEEGに対して、視差別、被験者別にECDL法を用いて比較を行い、立体視認知過程での脳内処理部位およびその時間的推移についての検討を行った。この結果、初期視覚認知過程および脳内高次処理過程における、詳細な時空間的モデルを得た [4]。

本研究では、被験者数を増やし、立体視認識の過程における脳活動部位についての、さらに

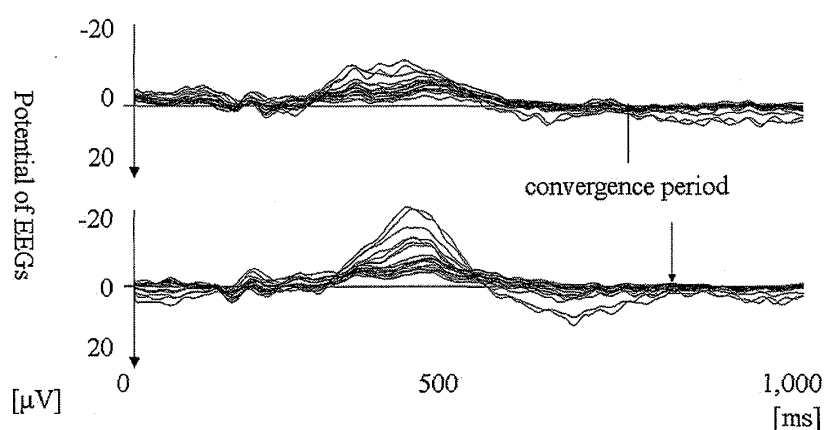


Fig. 1 Comparison of latency for ERPs convergence. Each arrow shows convergence time.
(Subject ED, upper : $\Delta=10$ pixels, lower : $\Delta=30$ pixels)

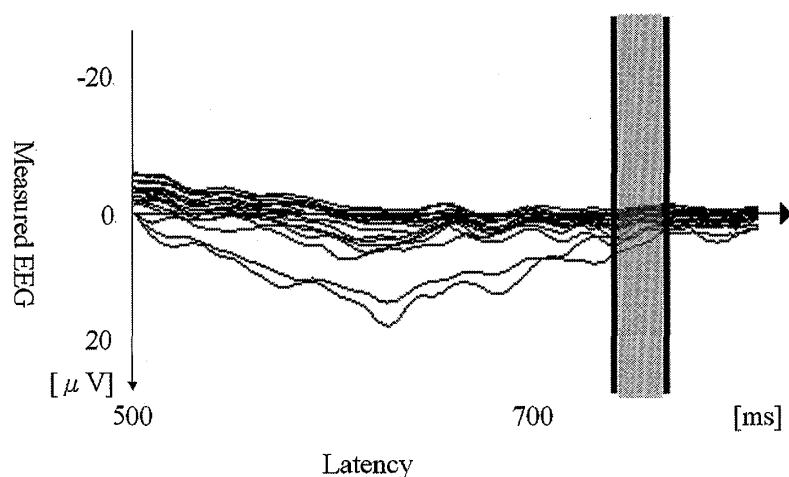


Fig. 2 Convergence process of ERPs, defined by a period peak latency of components just before the convergence and the convergence period (depicted between two vertical lines)

詳細な時空間推移の検討を行った。

2 本研究で行った実験

2.1 本実験で提示した視覚刺激

本研究では奥行き認知、すなわち空間位置を認知する過程における脳内処理部位の時空間的推定を目的としている。このため提示する視覚刺激は出来る限り余分な情報を持たない静的な刺激が望ましい。本研究では左右の眼にそれぞれ独立して、単眼で観察した場合にはきめの情報のみが存在するようなrandom-dot stereogram（以下RDS）を視覚刺激として提示した。提示したRDSは前景RDSと背景RDSの2つの要素で構成され、左右の眼に提示する前景RDSおよび背景RDSは同一の画像であり、前景RDSの水平方向の位置のみが異なる画像とした（Fig. 3）。ここで左右の眼に提示する前景RDSの位置の差を視差（ Δ ）として扱う。

この視覚刺激を被験者の左右の眼に独立して提示することにより、被験者は立体的な視覚刺

刺激を観察する．実際に提示される刺激と知覚される奥行きの関係はFig.4で示される様に，前景RDSを提示する距離を d_f ，背景RDSを提示する距離を d_b ，被験者の瞳孔間距離を d_e とすると，知覚される前景RDSと背景RDSとの奥行きの差 d ($d = d_f - d_b$)は式(1)で与えられる．

$$d = \frac{\Delta d_b}{\Delta + d_e} \quad (1)$$

実験時には被験者とRDSを提示するCRTとの距離 d_b を固定し，CRTの分解能を一定としている．また背景RDSの視差が0であり，背景RDSが知覚される奥行きはCRT面の奥行きと一致するものとする．実験は暗室内で行い，CRT以外の視覚的な要素を可能な限り排除して行った．実験ではRDSの視差を10pixels(小視差)，30pixels(大視差)および比較用に提示視差0 pixel(視差無し)の3パターンの視覚刺激をそれぞれ80回ずつ，各被験者に提示した．

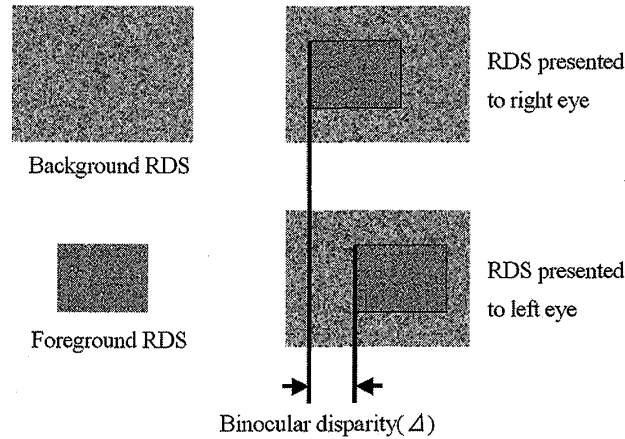


Fig. 3 Relationship between RDSs and binocular disparity (Δ)

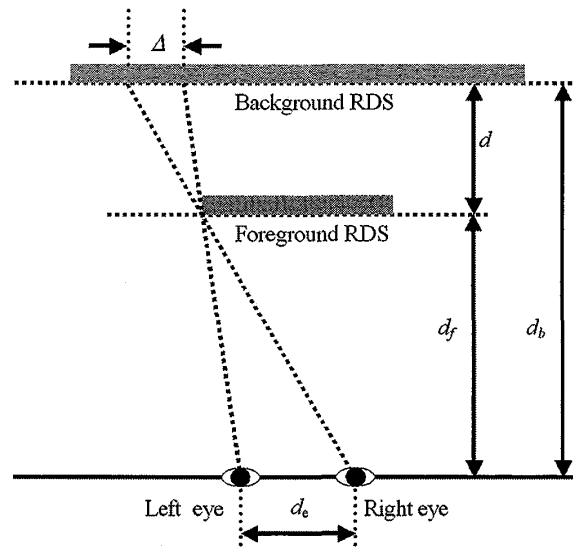


Fig. 4 Relationship between binocular disparity (Δ) and perceived depth

2.2 刺激提示装置と脳波計測装置

本研究では視覚刺激の提示を左右の眼に対して独立に行うために液晶シャッター眼鏡を使用した。液晶シャッター眼鏡は、画像を高速に切り替える垂直シンクロナイザーと同期して左右のシャッターの開閉が行われる。CRTに左眼提示用画像が提示されている場合には左眼側のシャッターのみが開き、右眼提示用画像が提示されている場合には右眼側のシャッターのみが開く。これにより液晶シャッター眼鏡を装着した被験者の左右の眼に同時に異なる画像が提示され、結果として立体視とほぼ同様な視覚刺激の提示が可能となる。

被験者が視覚刺激を観察する際のEEG計測には時間分解能が1ミリ秒で、19チャンネルでのEEG計測が可能であるデジタル多用途脳波計（Synafit EE2500：日本GEマーケット）を使用した。被験者は19チャンネルの電極キャップを装着し、これを介して実験中のEEGを計測する。計測されたEEGはA/D変換ボードを介してデータ保存用のPCに出力される。実験時には電極接触抵抗値は最大でも10k Ω 以下で計測を行った。EEG計測時のサンプリング周波数は1 KHz、バンドパスフィルタは0.15~100Hzとした。

2.3 実験手順

実験はFig. 5に示す流れで1タスクとしている。実験では、視覚刺激提示用のCRTにRDSを提示すると同時にデータ保存用のPCに刺激提示を示すトリガ信号を出力した。RDSは3秒間提示し、その間のEEGを計測した。被験者は視覚刺激の提示後に、提示されたRDSが立体として認識出来たか否かの結果をキー入力によってPCに出力した。この際の運動準備電位が視覚刺激提示時のEEGに混入することを防止するため、3秒間の刺激提示の後2秒経過してからキー入力を促す指示をCRT上に表示し、その後に被験者が立体として認識出来たか否かに対応する2つのボタンのいずれかを押下することとし、この間はキー入力となされるまで次の刺激提示は停止されるものとした。解析には、立体として認識出来た際のEEGのみを使用した。

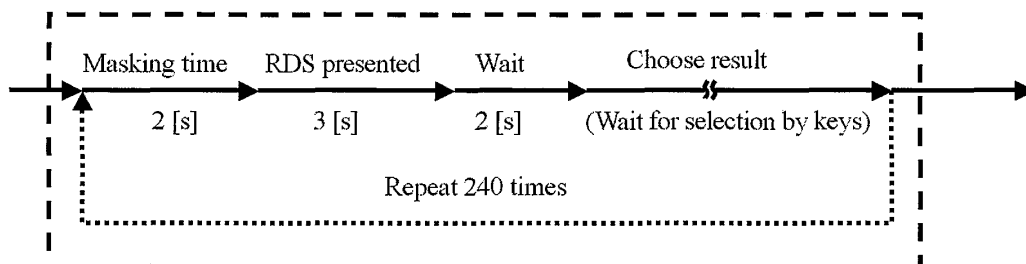


Fig. 5 Process of the present experiment (repeated 240 times)

2.4 本実験の被験者

本研究では、正常な視覚を有する20~22歳の10名の学生（男子6名、女子4名）に対して、

これらの装置構成による実験をそれぞれ複数回行った。

2.5 脳内処理部位の推定方法および推定範囲

実験で得られたEEGにECDL法を適用した。一般に、ECDL法では、頭部モデル内にECDを置いて、頭皮上の電位分布の理論値を計算する「順問題」と、理論値と計測値の間の誤差が最小となるようにECDパラメータを最適化する「逆問題」を解く。頭部モデルとしては、導電率の異なる頭皮、頭蓋骨および皮質の3層を、同心球としてモデル化した (Fig.6)。

被験者毎の同心球モデルの設定には被験者各自のMRI画像を利用した。また、推定結果の精度および信頼性については、それぞれ、Goodness of fit (GOF) および統計的な信頼限界 [5] の値によって評価した。これらの解析にはPC版双極子推定ソフトウェア [6] (SynaPointPro: 日本GEマーケット) を用いた。本研究では、GOF値が99%以上、95%の信頼限界が1 mm以下である推定結果を採用した。

実験で得られたEEGには被験者のまばたきなどによりノイズが混入する。このような測定時のノイズを軽減するために、計測された全てのEEGについて波形を観察し、大きな乱れの存在する計測データについては解析対象から除外した。本研究では先行研究 [4] と同様に、ERPが収束する過程とした潜時700ms前後までを含む潜時に対して解析を行うため、PstCGにECDが推定された潜時 (400ms前後) より前の潜時と、PstCG後からERPが収束後の潜時 (800ms前後) までの2つの範囲を解析の対象とした。

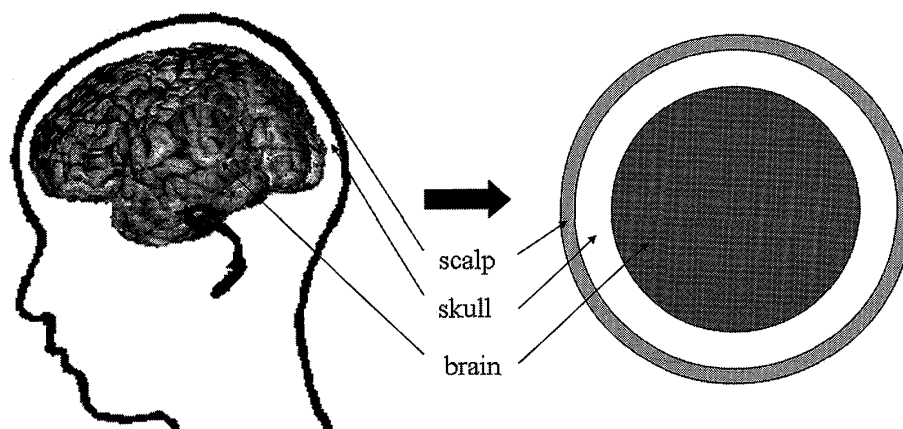


Fig.6 Concentric 3-sphere model of the human brain (left: real head image, right: 3-sphere model)

3 結果

3.1 得られたERPの傾向

実験で得られたEEGに対して、被験者別、提示視差別にそれぞれ加算平均を求め、ERPを得た。それらの波形を比較したところ、ほとんどの被験者について提示視差が大きい場合にERP

の急激な変化がみられた。また先行研究でPstCGにECDが推定されていた潜時400msまでの範囲では、ERPは提示視差に関して大きな差はみられなかった。

PstCGにECDが推定された以後、ERPが収束するまでの範囲に関して、各被験者に共通して、ERPの収束する潜時は提示視差が小さい場合には早く始まり、その変化は緩やかであった。

ERPの波形のピーク潜時を中心にECDL法によって脳内処理部位の推定を行った。また奥行き認知に関する処理は提示視差 0 pixelではなされないと考えられるため、視差が存在する視覚刺激提示時のERPと視差無しのERPについて差分を求め、その差分のピークとなる潜時の前後についても同様に推定を行った。

3.2 PstCG以前での脳内処理部位の比較

PstCGにECDが推定されるまでの潜時について脳内処理部位の推定を行った結果、被験者KKについては小視差、大視差ともに潜時100msでV1に、また潜時167msでV4 (Fig. 7) にECDが推定された。その後潜時181msでMT野 (Fig. 8) に、潜時322msでTE野 (Fig. 9) に、そして潜時407msでPstCG (Fig. 10) にECDが推定された。

PstCG以前に推定されたECDの部位と推移は、すべての被験者に共通していた。また提示された視覚刺激の視差による潜時の差はみられなかった。また、視覚刺激の視差によらず、6名の被験者は左後頭葉に、4名の被験者は対側（右後頭葉）にECDが推定された (Table 1)。

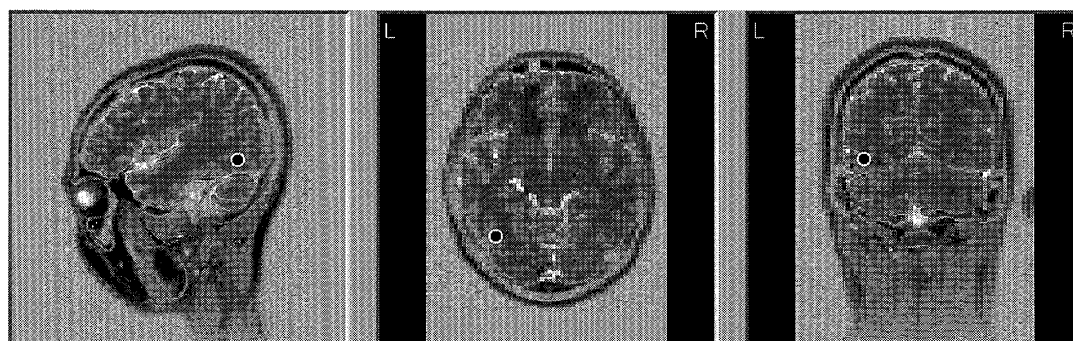


Fig. 7 Example of ECD localized to the left V 4 at 167ms (Subject KK): $\Delta=10$ pixels

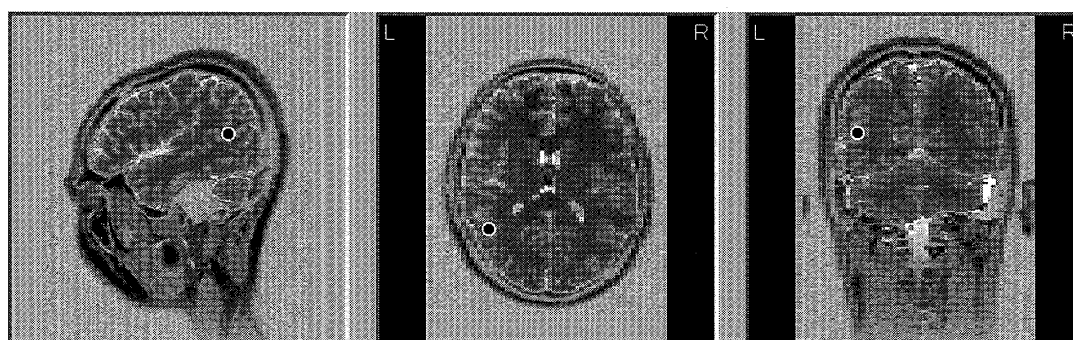


Fig. 8 Example of ECD localized to the left MT at 181ms (Subject KK): $\Delta=10$ pixels

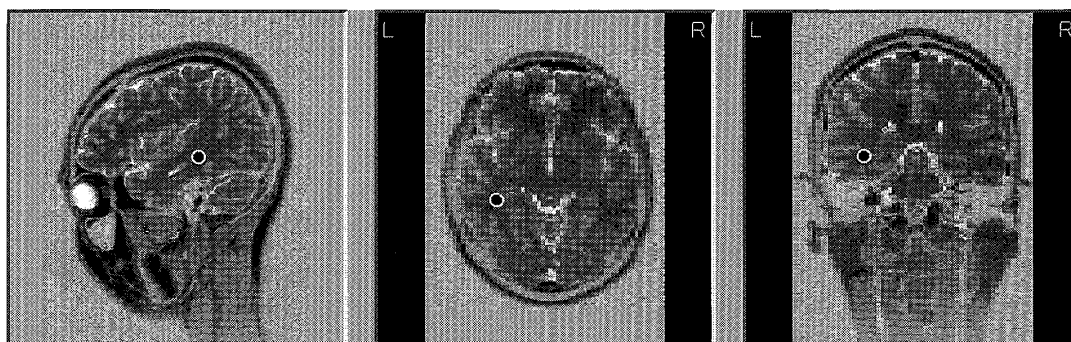


Fig. 9 Example of ECD localized to the left TE at 322ms (Subject KK): $\Delta=10$ pixels

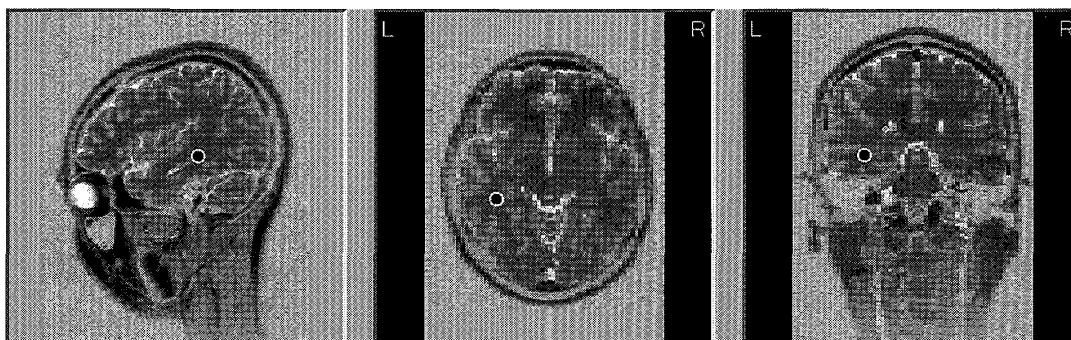


Fig. 10 Example of ECD localized to the left PstCG at 407ms (Subject KK): $\Delta=10$ pixels

3.3 PstCGに推定された以後の脳内処理

PstCG以後、ERPが収束する潜時までの範囲について推定を行った。被験者KKについて解析を行った結果、潜時479msで左頭頂間溝 (intraparietal sulcus : IPS) (Fig. 11) を経て中心前回 (precentral gyrus : PrCG) にECDが推定された。その後、右中前頭回 (middle frontal gyrus : MFG) (Fig. 12) に、潜時579msで脳梁 (corpus callosum : CoC) (Fig. 13) にECDが推定され、その後、潜時590msで右下前頭回 (inferior frontal gyrus : IFG) (Fig. 14) にECDが推定された。更に潜時606msでCoCに、潜時608msで右MFGにECDが推定された。ERPが収束するまでの潜時では、左MFGおよび右IFGにECDが多く推定され、この間にはCoCにもECDが推定された。また、先行研究と同様に、FEFおよびSCにECDが推定された。

視覚刺激の視差別にこれらの部位にECDが推定された潜時を比較すると、大視差の場合には小視差よりも早い潜時で各部位にECDが推定された。またMFGおよびIFGにECDが推定された潜時については、大視差の場合には小視差よりも推定されたECDが多く、長時間にわたって推定されていた。これらの傾向はほぼ全ての被験者に共通していたが、利き手が左で、先行研究 [7] によって言語野が右利きの対側である右脳にあると推定された被験者MTについては、PrCG以後ではすべて対側にECDが推定された (Table 2)。

Table 1 Relationship between localized source and its latency (before the PstCG)[ms]

disparity	subject	V 1	V 4	MT	TE	PstCG
10 pixels	KK	100 L	167 L	181 L	321 L	407 L
	YM	115 L	163 L	203 L	330 L	400 L
	KS	105 L	175 L	185 L	333 L	398 L
	MT	84 L	185 L	200 L	345 L	406 L
	KN	88 L	198 L	207 L	349 L	427 L
	KA	110 L	193 L	197 L	334 L	405 L
	ED	118 R	188 R	196 R	344 R	399 R
	KH	106 R	186 R	188 R	339 R	434 R
	HT	120 R	181 R	204 R	341 R	418 R
	MH	118 R	197 R	206 R	333 R	415 R
	Mean	106.4	183.3	196.7	336.9	410.9
	SD	11.9	11.3	8.7	7.9	11.7
30 pixels	KK	98 L	177 L	185 L	350 L	398 L
	YM	86 L	171 L	196 L	335 L	398 L
	KS	97 L	184 L	200 L	335 L	381 L
	MT	98 L	199 L	204 L	347 L	380 L
	KN	83 L	200 L	210 L	336 L	417 L
	KA	85 L	185 L	206 L	329 L	401 L
	ED	108 R	187 R	204 R	345 R	394 R
	KH	114 R	189 R	197 R	337 R	421 R
	HT	120 R	181 R	191 R	341 R	422 R
	MH	131 R	186 R	207 R	329 R	393 R
	Mean	102.0	185.9	200.0	338.4	400.5
	SD	15.2	8.4	7.4	6.8	14.4

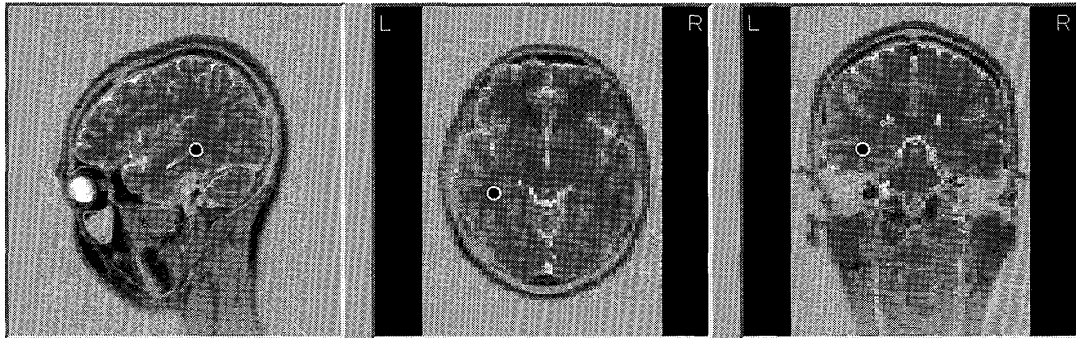


Fig. 11 Example of ECD localized to the left IPS at 479ms (Subject KK): $\Delta=10$ pixels

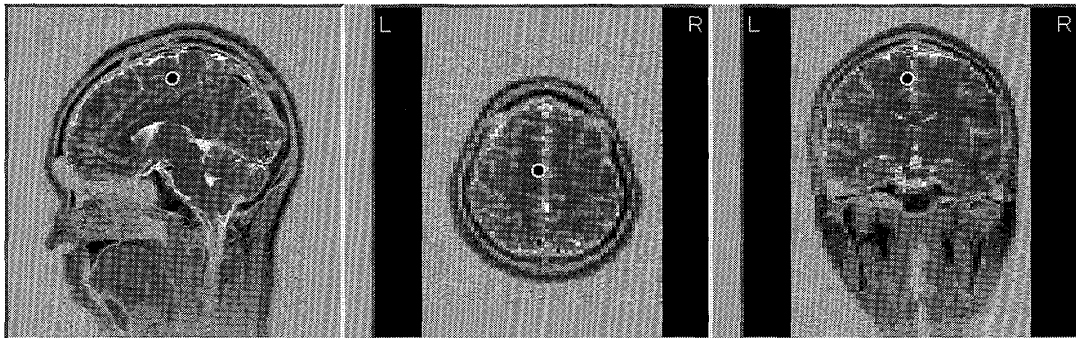


Fig. 12 Example of ECD localized to the right MFG at 572ms (Subject KK): $\Delta=10$ pixels

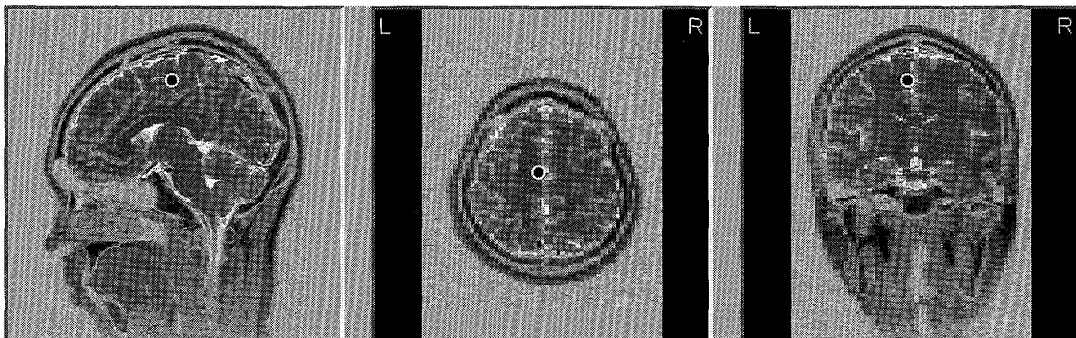


Fig. 13 Example of ECD localized to the CoC at 579ms (Subject KK): $\Delta=10$ pixels

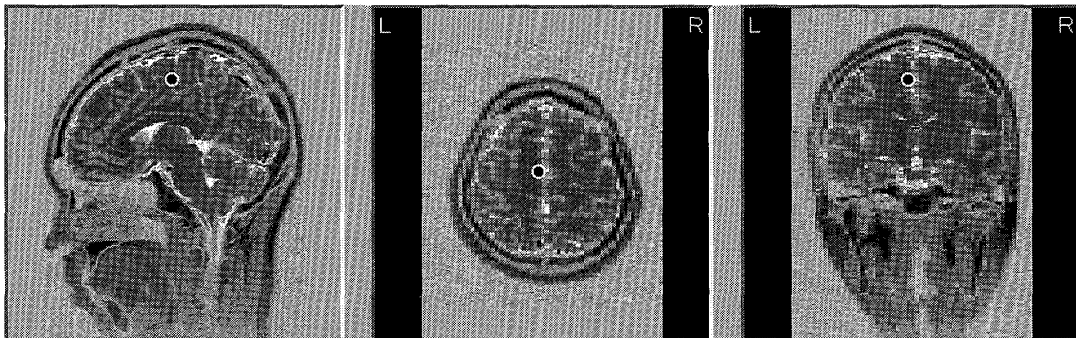


Fig. 14 Example of ECD localized to the left IFG at 590ms (Subject KK): $\Delta=10$ pixels

Table 2 Relationship between localized source and its latency (after the PstCG)[ms]

disparity	subject	IPS	PrCG	MFG	CoC	IFG	CoC	MFG	FEF	SC
10 pixels	KK	479 L	535 R	572 R	579	590 L	606	608 R	586 R	594
	YM	487 L	540 R	578 R	591	592 L	609	622 R	602 R	614
	KS	499 L	531 R	569 R	581	583 L	602	636 R	610 R	629
	MT	482 L	539 L	574 L	587	592 R	599	616 L	594 L	622
	KN	485 L	535 R	571 R	572	578 L	607	608 R	607 R	613
	KA	489 L	555 R	577 R	582	583 L	602	603 R	606 R	631
	ED	497 L	540 R	586 R	589	600 L	601	619 R	594 R	606
	KH	491 L	548 R	581 R	585	600 L	616	620 R	596 R	609
	HT	499 L	546 R	582 R	584	604 L	610	625 R	590 R	606
	MH	472 L	534 R	591 R	611	621 L	629	632 R	579 R	601
	Mean	488.0	540.3	578.1	586.1	594.3	608.1	618.9	596.4	612.5
	SD	8.5	7.0	6.6	9.8	11.9	8.5	10.1	9.4	11.3
30 pixels	KK	467 L	502 R	530 R	542	550 L	565	574 R	539 R	544
	YM	463 L	521 R	531 R	554	555 L	582	589 R	550 R	566
	KS	459 L	522 R	518 R	520	539 L	553	561 R	559 R	563
	MT	460 L	515 L	541 L	544	565 R	570	577 L	574 L	587
	KN	454 L	492 R	522 R	549	551 L	565	574 R	559 R	578
	KA	434 L	514 R	529 R	533	537 L	555	557 R	564 R	583
	ED	471 L	512 R	518 R	526	541 L	555	560 R	554 R	567
	KH	467 L	525 R	515 R	532	538 L	563	569 R	558 R	570
	HT	477 L	516 R	539 R	547	551 L	557	569 R	556 R	574
	MH	454 L	501 R	506 R	516	520 L	527	551 R	551 R	575
	Mean	460.6	512.0	524.9	536.3	544.7	559.2	568.1	556.4	570.7
	SD	11.2	10.0	10.5	12.2	11.8	13.5	10.6	8.7	11.4

4 考察

脳活動部位の推移を比較すると、使用した視覚刺激の視差によらず、推定されたECDの部位およびそれらの推移については、10名の被験者で共通していた。

PstCGにECDが推定される以前の脳内処理部位については、先行研究と同様に、V1からTE野までの腹側系の視覚経路と、V1からPstCGまでの背側系の視覚経路とで、ほぼ同時に平行して処理がなされていると考えられる (Fig. 15)。また、推定された潜時については、提示刺激の視差にかかわらず各部位に関して同様であった。しかしながら、推定された大脳半球を比較すると、6名の被験者は左後頭葉、4名の被験者は右後頭葉にECDが推定されていた。各被験者

について、提示刺激の視差に関わらず同じ大脳半球で処理がなされていること、被験者の利き手および利き眼とは無関係であったことから、初期視覚認知過程での処理についての左右の優位な処理には、個人差が存在することが考えられる。

PstCG以後に推定された部位については、初期視覚認知過程で優位であった大脳半球の向き、被験者の利き手および提示された視覚刺激の視差にかかわらず、全被験者で左IPSにECDの部位が推定されたことから、奥行き認知過程におけるPstCG以後の処理に関しては、共通した役割の部位が存在すると考えられる。

左IPS以後に推定されたECDの部位とその推移は、左右のMFGおよびIFGと同時に、眼球運動に関係するとされるFEFおよびSCにECDが推定された。また左IPS以後、ERPの収束までの潜時では、左右の前頭葉にECDが推定された。推定されたECDの脳内部位に関しては、利き手が右の9名の被験者については、約3：1の比率で右脳半球に多くECDが推定されていた。またこれらの潜時ではCoCにECDが推定されていたことから、右前頭葉における空間認知のワーキングメモリでの処理と同時に、連動した処理として、前景RDSと背景RDSの奥行きの差の判断を左脳半球で行っていることが考えられる (Fig. 16)。

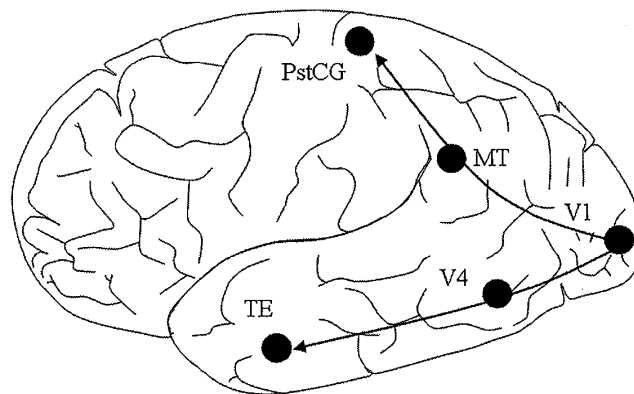


Fig. 15 Spatial transition in brain activity for the human stereopsis before PstCG localization

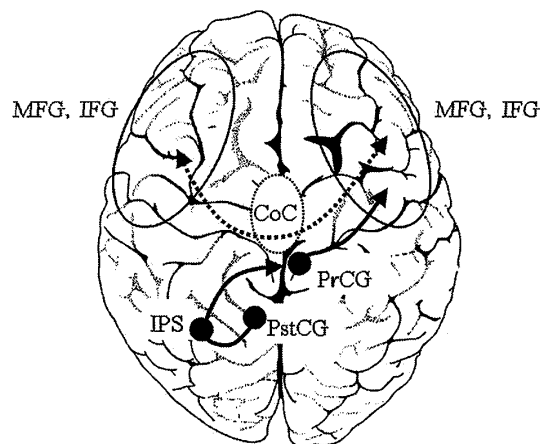


Fig. 16 Spatial transition in brain activity for the human stereopsis after the PstCG localization

一方、利き手が左の被験者MTについては、左脳半球で活発な脳活動が観察された。被験者MTは、言語に関する研究 [7] によって、言語野が対側に推定されていることから、空間認知に関する脳活動部位も対側に存在すると考えられる。この結果、言語および正確な判断に関する処理と、空間認知に関する処理とでは、優位な大脳半球が異なる傾向であることが考えられる。

また、PstCG以後の推定結果では、提示刺激の視差の違いに対する処理潜時に差がみられた。大視差の場合には小視差よりも早い潜時で左IPSにECDが推定され、その後、右MFGに至るまでにECDが推定された各部位の潜時についての傾向も同様であった。一方、ERPの収束する潜時は大視差の場合には遅れていたことから、初期視覚認知過程以後の脳内処理として、PstCG以後、PrCGまでの間に、両眼視差が存在することの判断がなされると考えられる。そしてその後の処理として、前頭葉で奥行きに関する空間的な認知および前景RDSと背景RDSの奥行きの差が判断されると考えられる。

5 おわりに

本研究では、ECDL法によって視差の存在するRDS視覚刺激に対する視覚処理過程を推定した結果、空間認知に係る脳内処理部位である右前頭葉での脳活動を確認した。これらの結果は、従来fMRIなどの装置によって確認されていたそれぞれの刺激に対する脳内処理部位 [8][9][10][11][12] とほぼ同様の結果であることを確認したのみならず、時間分解能で優位であるEEGの解析によって各処理の推移を明らかにした。

また、空間の認知および判断に係るIFG以外に、正確な判断に係るといわれる左前頭葉での脳活動、そして左右の前頭葉の活動と同時にCoCでの活動を確認した。この結果から、大脳の機能分化のみではなく、複合した高次脳活動を時空間的に捉えることが出来た。

謝辞

本研究は文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業ハイテク・リサーチ・センター整備事業に伴う北海学園大学ハイテク・リサーチ・センター研究プロジェクト「視覚・画像・音声・言語情報の高度化と知的計測制御技術への応用」の一環として行われた。

本研究を行うにあたり協力を頂いた被験者および援助を頂いた方々に謝意を表す。

参考文献

- [1] EE Smith, J. Jonides and RA Koeppel : Dissociating verbal and spatial working memory using PET, Cereb. Cortex 6, pp.11-20, 1996
- [2] Martin Pare and Doug P. Hanes : Controlled Movement Processing : Superior Colliculus Activity Associated

- with Countermanded Saccades, *The Journal of Neuroscience*, July 23, 23 (16), pp. 6480–6489, 2003
- [3] 斎藤正明, 山ノ井高洋, 大西真一, 山崎敏正: 両眼立体視の脳内情報処理過程—事象関連電位の双極子解析による検討—, *医用電子と生体工学*, 39–4, pp. 312–317, 2001
- [4] 豊島恒, 山ノ井高洋, 山崎敏正, 大西真一: 時空間等価電流双極子推定法によるRDS両眼立体視の脳内処理部位の解析, *知能と情報*, 18巻1号, pp. 102–110, 2006
- [5] 山崎敏正, 上條憲一, 剣持聡久: 動径成分の信頼限界に基づいた脳波信号源推定の精度評価, *医用電子と生体工学*, 37–4, pp. 336–341, 1999
- [6] 山崎敏正: 32チャンネル電極キャップによる脳内等価電流双極子推定, *CLINICAL NEUROSCIENCE*, 18–2, 186–190, 2000
- [7] T. Yamanoi et al., Dominance of recognition of words presented on right or left eye – Comparison of Kanji and Hiragana –, to appear in *Modern Information Processing, From Theory to Applications*, edited by B. Bouchon-Meunier, G. Coletti and R.R. Yager, Elsevier Science B.V., pp. 407–416, 2005
- [8] Marjorie A.M. Hollants-Gilhuijs, Jan C. De Munck, Zuzana Kubova, Eric van Royen and Henk Spekreijse: The development of hemispheric asymmetry in human motion VEPs, *Vision Research* 40, pp. 1–11, 2000
- [9] 大脇崇史, 武田常広: 両眼視差刺激時の脳磁場応答と反応時間, *生体医工学*, vol. 41, no. 4, pp. 250–261, 2003
- [10] Takashi Sato, Jeffrey D. Schall: Pre-excitatory pause in frontal eye field responses, *Exp Brain Res.* 139, pp. 53–58, 2001
- [11] Paul W. Glimcher: Making choices: the neurophysiology of visual-saccadic decision making, *TRENDS in Neurosciences* Vol. 24, No. 11, November, 2001
- [12] David C. Mansfield, Uma Shahani, Daphne L. McCulloch and William S. Simpson: Dipole source modelling of the magnetoencephalogram to stereopsis, binocular fusion and rivalry, *Journal of Vision*, Vol. 4, No. 8, 2004