

夢の精神生理学的研究  
—REM睡眠中の視覚活動と眼球運動関連電位—

宮内 哲\*・多喜乃 亮介\*\*

\* 岡崎国立共同研究機構生理学研究所 高次神経性調節部門

〒444 愛知県岡崎市字西郷中38

\*\* 白梅学園女子短期大学 心理学科

〒187 東京都小平市小川町1-830

Psychophysiological study on dreaming

Visual activity and REMs associated brain potentials during REM sleep.

Satoru Miyauchi\* and Ryosuke Takino\*\*

\* Laboratory of Neural Control, National Institute for Physiological Sciences

\*\* Shiraume Gakuen College

1. REM睡眠時の急速眼球運動と走査仮説

ヒトのREM睡眠中に出現する急速眼球運動 (rapid eye movements: REMs) は、REM睡眠が発見されて以来、その生物学的意義・神経生理学的発生機構に関して多くの研究が行なわれてきている。なかでもREM睡眠発見当初から提唱され、未だに論議の対象となっている問題に Dementら<sup>1)</sup>によって提唱された「走査仮説」がある。図1はヒトのREM睡眠時の眼球運動と脳波記録で、1~2秒の間隔でかなり規則正しい水平方向REMsが出現している。右端の矢印の

時点で被験者を覚醒させ、起こされる直前に見ている夢を聴取している。被験者は二人の友人の卓球の試合を観戦していたと報告した。すなわち、夢の中で被験者は卓球台の真ん中に立っていて、球の行方を追って左右を交互に見ていたわけである。このようにREM睡眠中に覚醒させる直前に被験者が示した眼球運動パターンと、夢の中での被験者の視線の移動方向がしばしば一致することから、「REM睡眠中のREMsは、覚醒・開眼時に外界を見るのと同じように、夢の中での視覚体験を走査するために生じる。」

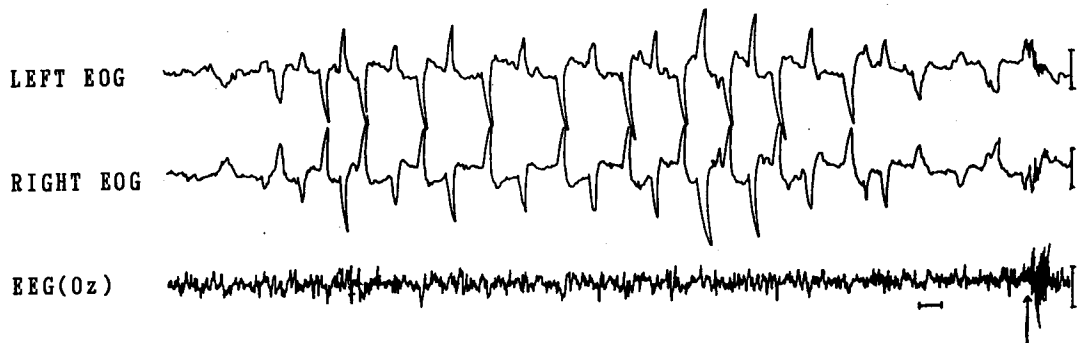


図1 An example of EOGs (top and middle traces) and EEG (bottom trace) during REM sleep. The subject shows periodic horizontal rapid eye movements at intervals of 1 or 2 seconds. The subject was awake at the end of the traces (indicated by an arrow) and required to tell what he had dreamt. (Modified from "Some must watch while some must sleep", Stanford Alumni Association, Stanford, U.S.A., 1972)

という走査仮説が提唱された。

走査仮説を支持する知見としては、第1に、図1に示したように覚醒させる直前に被験者が示した眼球運動パターンと、被験者から聴取した夢内容から推定される眼球運動パターンが一致したという例がいくつか報告されている。第2に、REM睡眠をREMsの頻発期と散発期に分けて、それぞれの時期に被験者を覚醒させて見ていた夢を聴取すると、REMsの頻発期には夢の中での身体活動が活発で夢の内容も複雑で鮮明度が高く、逆にREMsの散発期には不活発で受動的な夢が多い事が知られている。第3に、REMsとは直接関係ないが、走査仮説と同様、睡眠中の一過性の生理現象と夢内容との関連を示すものとして、オトガイ筋・口輪筋等の発語筋の放電が頻繁に出現した直後に被験者を覚醒させると、筋活動が無かった場合に比べて、被験者が「夢の中で話していた。」と報告する割合が高いという知見もある。

さらに最近神経心理学の分野から、左半側無視(left hemineglect)の患者では左方向へのREMsがほとんど出現しない、という興味深い知見が報告されている<sup>2)</sup>。左半側無視の患者では、実際の視覚のみならず、覚醒時の視覚イメージを走査する際にも左半側無視が起こる<sup>3)</sup>。視覚イメージと夢の中での視覚像が同じ発現機序から生じていると断言することはできないが、もし夢の中での視覚像に対しても左半側無視が起こっているとすれば、左方向へのREMsが出現しないという知見に対する説明として走査仮説が最も妥当ではないだろうか。

しかしながら、走査仮説を支持する知見に共通する限界として、これらの研究がいずれも睡眠中の夢に関する被験者の言語報告に基づくものであり、客観性・再現性に欠ける面がある事は否定できない。さらに走査仮説に否定的な知見も多い。第1に、先天性盲人や新生児等視覚経験の無い被験者では、われわれが夢見の時に知覚するような視覚イメージは存在しないと考えられる。先天性の盲人で覚醒時の視覚心像が欠落している場合は、夢の中でも視覚的要素が

欠如しており、聴覚的要素が主体を成している。もしREMsが夢の中での視覚体験を走査するために生じているのであれば、盲人ではREMsは出現しないはずである。しかしながら先天性の盲人・新生児でも、出現頻度はかなり低下するものの、REMsは出現する。さらに除皮質ネコや除皮質状態にあるヒトでもREMsは出現する。

第2に、健常者でもしばしば入眠時に明瞭な視覚像を伴う幻覚(入眠時幻覚:hypnagogic hallucination)を経験する。この時期には、narcolepsyの患者にしばしば認められる入眠期REMに伴う入眠時幻覚を除くと、非常に緩徐な入眠時水平方向眼球運動(slow eye movement: SEM)は出現してもREMsは決して出現しない。REMsが出現しない時期でも夢と同様の視覚体験が生ずることがあるということも走査仮説を間接的に否定している。

以上の経緯から、現在ではREMsの出現頻度と夢内容の非特異的な相関関係は容認されているものの、走査仮説に関しては否定的な見解をとる研究者が多い。しかしながら、REMsの出現パターンと夢内容が明らかに一致することがあるということも事実であり、走査仮説の真偽は未だ未解決の問題である。

## 2. 覚醒時の眼球運動関連電位

REM睡眠中のREMsではなく、覚醒時のサッケードと脳波の関連を示すものとして、ラムダ

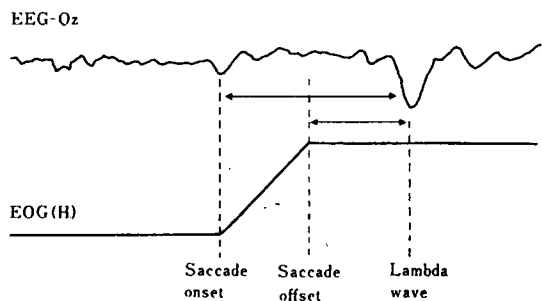


図2 Schematic diagram of lambda responses

波が知られている。ラムダ波は、図2に示すように、開眼時のサッケード終了直後に後頭優位に出現する電位である。被験者に自発的にサッケードを行なわせ、サッケードの開始あるいは終了時点でそろえて脳波を加算平均する事により、視覚誘発電位のように特に視覚刺激を呈示しなくても得られる。

ラムダ反応は暗室下あるいは被験者が閉眼している状態では出現せず、その振幅は実験室の照度及び視野のコントラストにほぼ正比例する。ラムダ反応の波形・頭皮上分布が視覚誘発電位と類似していることから、ラムダ反応は自然視覚条件における一種の視覚誘発電位である。ラムダ反応は、当初はサッケードに伴う網膜像の変化によって誘発されると考えられていた。しかしながら、被験者に種々のサイズのサッケードを行なわせ、サッケードの持続時間とサッケードの開始時点・終了時点からラムダ反応の頂点までの時間を計測すると、サッケードのサイズが大きく、持続時間が長い程、サッケード開始時点からの潜時は増加するが、サッケード終了時点からの潜時はサッケードの持続時間に関わり無くほぼ一定の潜時を示す。すなわちラムダ波はサッケードの開始時点ではなく、終了時点でタイムロックして出現する成分である。したがってラムダ波はサッケードに伴う網膜像の変化に起因しているのではなく、サッケードの終了—refixationに伴う網膜からの新たな視覚情報の入力に対する処理を反映した、自然視覚条件における一種の視覚誘発電位であると考えられる。

以上のようなラムダ反応の性質・発現機序とREMsの走査仮説を考え合わせ、走査仮説が主張するようにREMが夢の中での視覚体験を走査するために生じているのであれば、覚醒時のラムダ反応を得ると同様の手続きで、REM睡眠時のREMの出現に合わせて脳波を加算平均すれば、ラムダ反応に類似した成分が出現するのではないかと考え、覚醒時とREM睡眠時の眼球運動関連電位を測定し比較した<sup>46)</sup>。

### 3. 実験1 覚醒時及び睡眠時の眼球運動関連電位

年齢21~29歳の健康な男子学生11名を被験者として用い、各被験者につき2~3夜の自然夜間睡眠及び覚醒時のポリグラフ記録を行なった。脳波は国際式10-20法に従い頭皮上14または16部位から左右耳垂を結合したものを無関電極として時定数0.3で単極導出した。水平方向眼球運動は左右眼窩外縁より、垂直方向眼球運動は右眼窩上下より時定数0.3で双極導出した。筋電図はオトガイより時定数0.03で双極導出した。

実験条件として以下の3条件を設定した。

#### 1) 覚醒・照明下サッケード条件

通常の照明下の防音室内の安楽椅子に被験者を座らせ、被験者の眼前130cmに幅90cm高さ60cmのパネル写真を置き、視角約15度の間隔で写真上に二つのターゲットを指定し、一方のターゲットを4~5秒間注視し、その後できるだけ速くもう一方のターゲットに視線を移し、これを繰り返させた。

#### 2) 覚醒・暗室下サッケード条件

覚醒・照明下サッケード条件と同様の設定で暗室とし、約15分間の暗順応後、開眼したまま4~5秒間隔で眼球を左右にできるだけ速く動かさせた。あるいは暗室内で約一時間のポリグラフ記録を行ない、自発性のサッケードを記録した。

#### 3) REM睡眠条件

防音・暗室下で終夜睡眠ポリグラフ記録を行ない、REM睡眠時の急速眼球運動を記録した。

データの処理は、各実験条件ごとに脳波・水平方向眼球運動・垂直方向眼球運動をサンプリングレート200HzでAD変換し、水平方向眼球運動の立ち上がりをトリガーとして立ち上がり前1秒、立ち上がり後1.2秒をコンピュータにより加算平均した。REM睡眠条件でトリガーとして用いた眼球運動は、視角約3度以上の水平方向REMで、眼球運動の立ち上がり不明瞭な場合、眼球運動の前後400ms以内に別の眼球運動が出現している場合、大きな垂直方向成分が

混入している場合は加算対象から除外した。

**結果**

図3にREM睡眠条件の加算結果を11名の被験者の grand average で示した。REMsの開始時点に同期して、頭頂-後頭領域優位に鋭い陽性のSPIKE (POR) が出現し、中心部優位に比較的緩徐な陽性-陰性成分 (P185R-N330R) が出現した。後頭領域には二つの低振幅な陽性成分が出現した (P140R, P250R)。P140Rはすべての被験者において認められたが、P250Rは11名中2名の被験者では出現しなかった。

図4に覚醒・照明下サッケード条件の加算結果を11名の被験者の grand average で示した。サッケードの開始時点に同期して頭頂-後頭領域優位に鋭い陽性のSPIKE (POL) が出現し、中心部優位に陽性-陰性成分 (P240L-N330L) が出現した。後頭領域にはいわゆるラムダ反応 (P160L, P260L) が出現した。

図5に覚醒・暗室下サッケード条件の加算結果を11名の被験者の grand average で示した。サッケードの開始時点に同期して、REM睡眠条件・覚醒照明下条件と同様の、鋭い陽性の

SPIKE (POD) が頭頂-後頭領域優位に出現したが、そのほかには明瞭な成分は認められなかった。

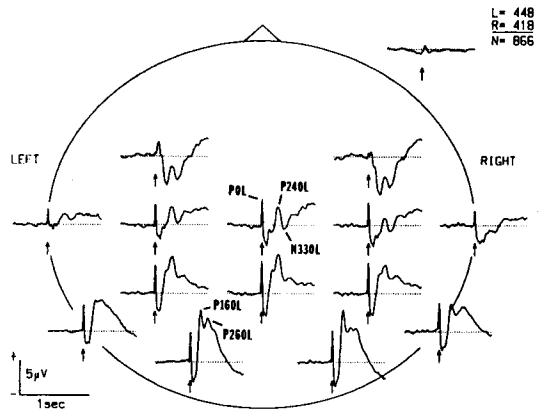


図4 Averaged EEGs time-locked to the onset of saccades under the normal ambient illumination (grand average from 11 subjects). As shown at the right upper corner, each wave form is the average of 866 EEG tracings (448 associated with right to left saccades and 418 tracings associated with left to right saccades). Upward arrows indicate saccade onset. The tracing on the top right shows averaged vertical EOG.

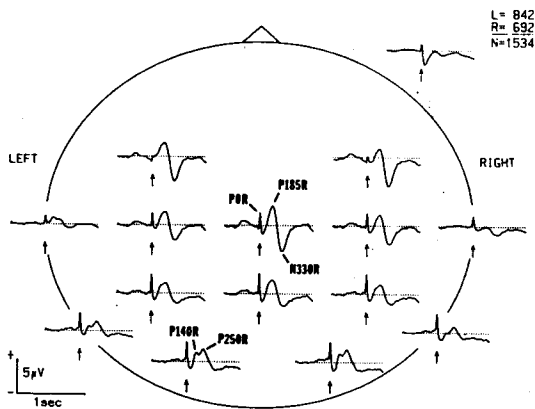


図3 Averaged EEGs time-locked to the onset of REMs (grand average from 11 subjects). As shown at the right upper corner, each wave form is the average of 1534 EEG tracings (842 associated with right to left REMs and 692 associated with left to right REMs). Upward arrows indicate REM onset. The tracing on the top right shows averaged vertical EOG.

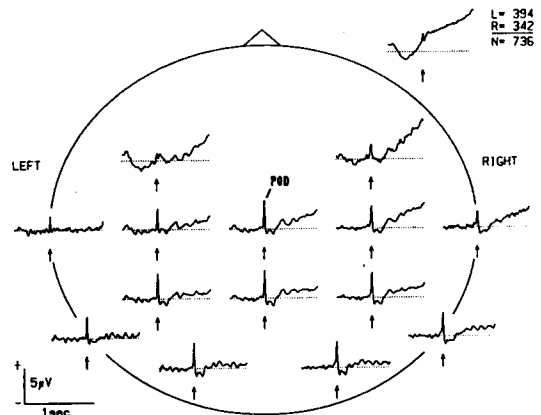


図5 Averaged EEGs time-locked to the onset of saccades in total darkness (grand average from 11 subjects). As shown at the right upper corner, each wave form is the average of 736 EEG tracings (394 associated with right to left saccades and 342 associated with left to right saccades). Upward arrows indicate saccade onset. The tracing on the top right shows averaged vertical EOG.

#### 4. 実験2 睡眠時の視覚誘発電位

実験1で得られたREMsにもなって出現する電位を網膜からの視覚入力によって得られる視覚誘発電位と比較するために、REM睡眠中及びNREM睡眠中にフラッシュを呈示し、睡眠中の視覚誘発電位を計測した。被験者及び記録条件は実験1と同じであった。フラッシュの呈示は、被験者の眼前約30cmにフラッシュ発光部を設置し、入眠から翌朝の覚醒まで8~12秒のランダムな間隔で呈示した。Rechtschaffen and Kalesの睡眠段階判定基準にしたがって睡眠段階を判定し、STAGE REM (REM睡眠フラッシュ条件)とSTAGE2 (NREM睡眠フラッシュ条件)で呈示されたフラッシュに対する視覚誘発電位をそれぞれオフラインで加算平均して求めた。

#### 結果

##### REM睡眠時の視覚誘発電位

図6にREM睡眠フラッシュ条件での視覚誘発電位を被験者11名の grand average で示した。中心・頭頂領域優位に陽性-陰性成分(P235VR-P410VR)が出現し、後頭領域には二つの陽性成分が(P170VR, P325VR)出現した。

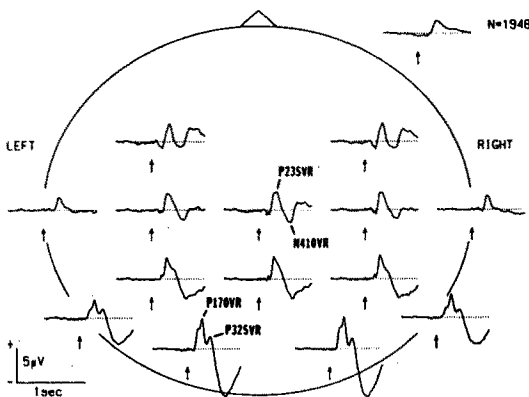


図6 Averaged EEGs time-locked to visual stimuli during REM sleep (grand average from 11 subjects). As shown at the right upper corner, each eave form is the average of 1948 EEG tracings. Upward arrows indicate the occurence of visual stimuli. The tracing on the top right shows averaged vertical EOG.

##### NREM睡眠時の視覚誘発電位

図7にNREM睡眠フラッシュ条件での視覚誘発電位を被験者11名の grand average で示した。中心・頭頂領域優位に陽性-陰性成分(P245VNR-N375VNR)が出現し、後頭領域には潜時175msで陽性成分が出現した(P175VNR)。11名中8名の被験者では、REM睡眠フラッシュ条件と同様、潜時300msの付近にもう一つの陽性成分が出現した。

#### 5. 考察

##### 5.1 頭頂-後頭領域の陽性スパイク成分

REM睡眠時のPOR, 覚醒・照明下サッケード条件のPOW, 覚醒・暗室下サッケード条件のPODは、いずれもサッケード・REMsの開始時点に同期して頭頂-後頭優位に広範な領域から出現した。これらの成分は立ち上がり眼球運動の開始時点よりもわずかに先行している事、頭頂領域で最大振幅を示す事から、頭頂連合野のPOSTERIOR EYE FIELDに起源を持ち、眼球運動の発現に関与するニューロン活動を反映した成分を含んでいる可能性がある<sup>7a)</sup>。しかしこの成分は左右眼窩外縁付近で位相の反転を示す

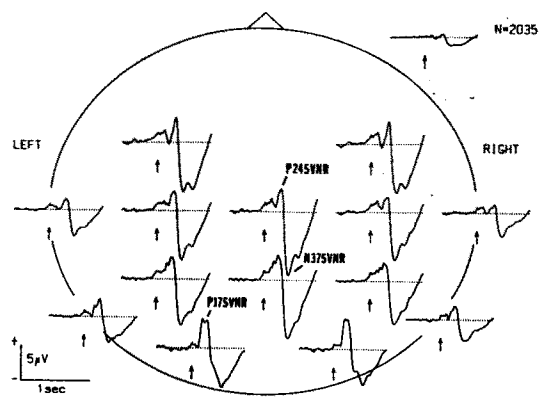


図7 Averaged EEGs time-locked to visual stimuli during NREM sleep (grand average from 11 subjects). As shown at the right upper corner, each eave form is the average of 2035 EEG tracings. Upward arrows indicate the occurence of visual stimuli. The tracing on the top right shows averaged vertical EOG.

事、動物及びヒトの皮質記録では出現しない事から、サッケードの開始に伴う外眼筋のmuscle potentialの可能性が強い<sup>9)</sup>。いづれにせよ、この成分は眼球運動を加算平均のトリガーとして用いたすべての条件で、同様の頭皮上分布・潜時で出現していることから、視覚活動とは直接関連していないと考えられる。

## 5.2 中心・頭頂領域の陽性-陰性成分

覚醒・暗室下サッケード条件を除くすべての条件において、眼球運動の開始時点Tあるいはフラッシュ刺激から185から240msの潜時で中心・頭頂優位に広範な領域から陽性-陰性成分が出現した。NREM睡眠フラッシュ条件でのこの成分は、その頭皮上分布・波形・潜時から、NREM睡眠中に自発性・誘発性に出現するK複合の一部であり、フラッシュ刺激によって誘発された非特異的な成分と考えられる。この成分は覚醒時・REM睡眠中ではその陰性成分が著しく減弱することが知られており、さらにREM睡眠REMs条件・覚醒照明下条件・REM睡眠フラッシュ条件で出現した陽性-陰性成分もほぼ同じ頭皮上分布・潜時を示すことから、これらは同一の成分と思われる。REM睡眠REMs条件での陽性-陰性成分の振幅がREM睡眠フラッシュ条件での陽性-陰性成分の振幅よりも有意に高かった事は注目し得る。すなわち、REM睡眠REMs条件では暗室での睡眠中に何ら視覚刺激は呈示されていないにもかかわらず、そのREMsによって誘発された電位の振幅は同一条件でのフラッシュ刺激による誘発電位の振幅よりも有意に高かった。覚醒・暗室下サッケード条件では同様の電位が出現しなかったことから、この成分は眼球運動そのものによって誘発されたとは考えにくい。したがって、REM睡眠中のREMsに伴って皮質へ強力な入力がある事を示している。

## 5.3 後頭領域の陽性成分

REM睡眠REMs条件では二つの陽性成分(P140R, P250R)が後頭・側頭後部にほぼ局限して出現した。同様に覚醒照明下条件では同じ領域に同様の潜時でラムダ反応(P160L, P260L)が出

現した。上述したようにラムダ反応がサッケード終了に伴う網膜からの新たな視覚情報の入力によって誘発される電位であるのに対し、REM睡眠条件では覚醒照明下条件のような網膜からの視覚入力が無い以上、これらの成分がまったく同一の発現機構によるものとは考えにくい。しかしながら覚醒・暗室下サッケード条件ではこれらの成分が出現しなかったのに対し、同じ暗室下で網膜からの視覚入力がない条件下で後頭の視覚野優位に出現することから、これらの陽性成分はREMsに伴って覚醒・開眼時のサッケードに伴う視覚情報と同様の入力があり、その処理を反映していると考えられる。REM睡眠時には、橋網様体から外側膝状体を経て視覚野を中心とした皮質の広範な領域にPGO-WAVE (ponto-geniculo-occipital wave) が出現し、特にREMsの直前に出現しやすい傾向がある。したがってREM睡眠条件で網膜からの視覚入力に相当するものとしてPGO-WAVEが考えられる。

以上の結果から最初に述べた走査仮説について考えてみると、走査仮説が主張するようにREM睡眠中の眼球運動が夢の中での視覚体験と一対一に対応しているかどうかは不明であるが、REMsの出現に対応して、何らかの視覚情報処理が行われている事が推測され、REM睡眠中の夢見活動とREMsが、単にREMsの出現頻度と言語報告による夢内容との相関関係としてではなく、生理学的に関連している事が示唆された。走査仮説を否定する根拠の一つとなっている、盲人や除皮質ネコでもREMsが出現する事に関しては、これらの被験者・被験体ではREMsの出現頻度が顕著に低下することから、夢に対応したREMsと対応していないREMsがあると考えるのが妥当と思われる。

## 6. おわりに

REM睡眠が発見され、さらにDementらがREM睡眠中に被験者を覚醒させて夢を聴取し、夢とREM睡眠及びREM睡眠中の急速眼球運動が密接に関連している事を最初に示したのは1957年であり、その論文の副題は "An objective

method for the study of dreaming"であった。最初に述べたように、この方法はその後の夢の研究に飛躍的な進歩を与えたが、強制覚醒後の言語報告のみに頼る限り、自ずと限界がある。今回示した方法並びにREMsに伴って出現する頭皮上電位を新たな "An objective method for the study of dreaming" とするために、SQUIDによる脳磁波を併用するとともに、REMsの左右方向別加算平均、REMsの頻発期と散発期に分けた加算平均等を行ない、この電位のより詳細な性質を調べる予定である。

以上の成果は、東邦大学名誉教授鳥居鎮夫氏、産業医学総合研究所福田秀樹氏との共同研究によるものである。本研究の一部は、文部省科学研究費（課題番号61480243）による補助を受けた。

#### 文 献

- 1) W. C. Dement and N. Kleitman: The relation of eye movements during sleep to dream activity. An objective method for the study of dreaming. *Journal of Experimental Psychology*, 53, 339-346, 1957.
- 2) F. Doricchi, C. Guariglia, S. Paolucci and L. Pizzamiglio: Disappearance of leftward rapid eye movements during sleep in left visual hemi-inattention. *Neuroreport*, 2, 285-288, 1991.
- 3) E. Bisiach and C. Luzzatti: Unilateral neglect of representational space. *Cortex*, 14, 129-133, 1978
- 4) 宮内 哲, 多喜乃亮介, 福田秀樹, 鳥居鎮夫: 夢の精神生理学. *神経研究の進歩*, 30, 1035-1043, 1986.
- 5) S. Miyauchi, R. Takino, H. Fukuda and S. Torii: Electrophysiological evidence for dreaming: human cerebral potentials associated with rapid eye movement during REM sleep. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 66, 383-390, 1987.
- 6) S. Miyauchi, R. Takino, M. Azakami: Evoked potentials during REM sleep reflect dreaming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 76, 19-28, 1990.
- 7) D. Kurtzberg and H. C. Vaughan: Topographic analysis of human cortical potentials preceding self-initiated and visually triggered saccades. *Brain Research*, 243, 1-9, 1982.
- 8) J. M. Weinstein, C. D. Balaban and J. N. Ver Hoeve: Directional tuning of the human presaccadic spike potential. *Brain Research*, 543, 243-250, 1991.
- 9) G. W. Thickbroom and F. L. Mastaglia: Presaccadic spike potential relation to eyemovement direction. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 64, 211-214, 1986.