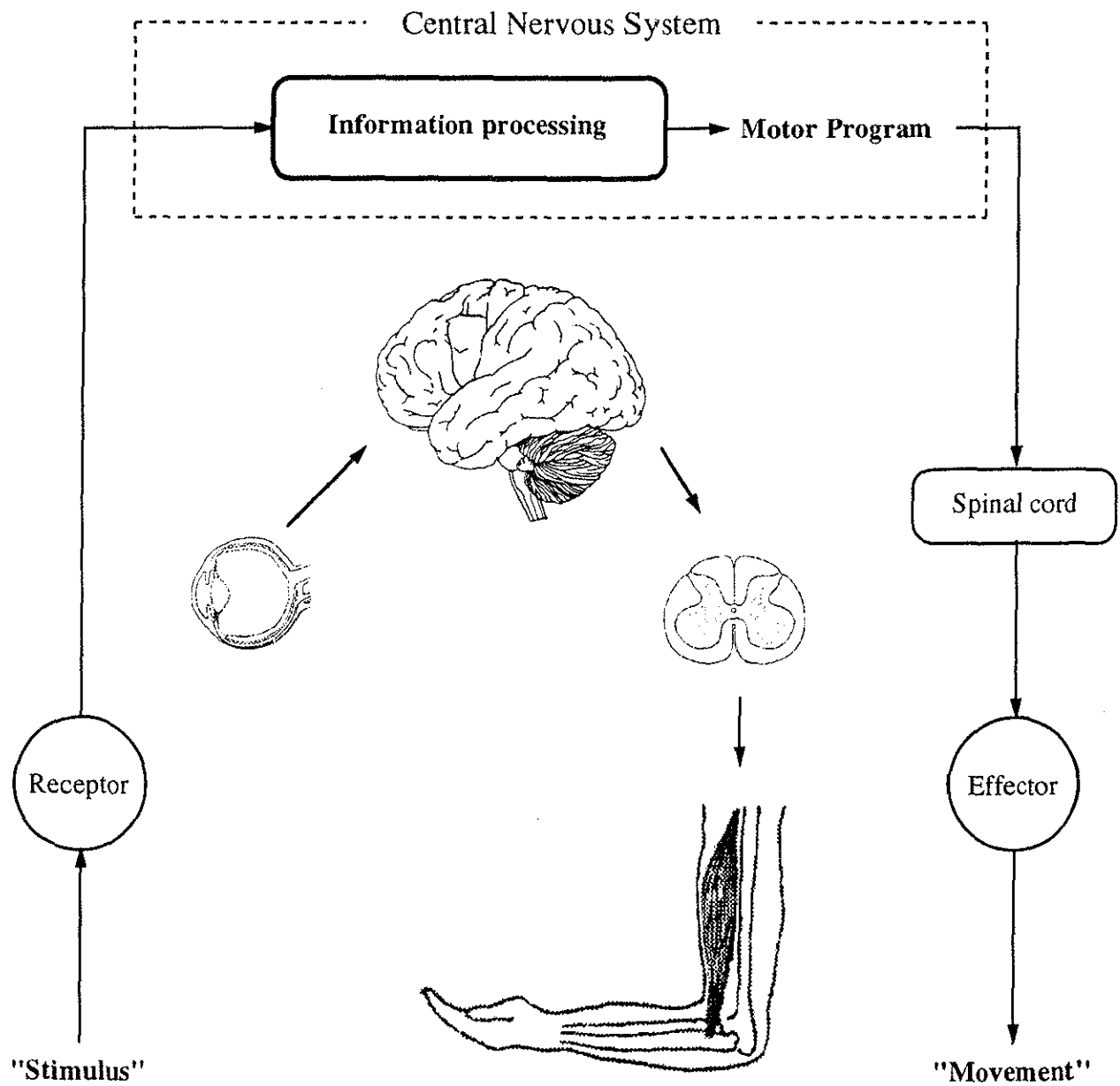


## 第1章 序論

### 第1節 研究の意義

人間が随意的な反応動作を遂行するためには、感覚受容器（視覚、聴覚、触覚など）から入力された刺激情報を中枢神経系で処理し、意図した反応動作の情報に変換された運動プログラムを末梢の効果器（手、腕、脚など）へ指令しなければならない（図1）。つまり、オープンループ制御の素早い反応動作では、中枢神経系における情報処理過程で構築された運動プログラム（どの筋をどのタイミングで動かすかといった情報を持つ）が、末梢での運動を制御していることになる（Keele, 1968; Kelso, 1981; Klapp, 1977; Schmidt, 1988）。例えば、バスケットボールのシュートの場合、ゴールまでの距離や角度をもとにして情報処理された“シュート”という運動プログラムを骨格筋に指令することでシュート動作が行われる。このとき、中枢神経系で行われる情報処理に対して混乱を招くような状況では、運動プログラムの構築がうまく行えず、選手が実行する反応動作パフォーマンスに影響すると考えられる。

スポーツ活動などに見られる運動は、様々な刺激情報から様々な反応動作を選択しなければならず、外部環境の認知能力、動作の正確性、動作の素早さ、動作の持続性といったスキルが必要とされる。つまり、中枢の情報処理過程における素早い意志決定と情報処理、さらに正確な反応動作が要求される。意志決定の遅速を評価する反応時間の決定要因には、刺激-反応（S-R）の選択肢の数（stimulus-response alternatives）、予測（anticipation）、S-R 整合性（stimulus-response compatibility）が挙げられる（Schmidt, 1988, 1991; 大築, 1988）。なかでも S-R 整合性は、刺激だけの特徴や反応だけの特徴によるのではなく、外部環境（刺激の位置、特徴）と内部環境（反応を実行する位置、特徴）との一致、不一致で起きる現象であり（cf., Proctor & Reeve, 1990）、刺激情報の認知過程と反応を実行する運動準備過程の交互作用によって生じている。したがって、S-R 整合性は、情報処理時間の遅速だけでなく、情報処理過程における運動プログラムの構築にも関与している可能性が考えられる。しかし、先行研究における S-R 整合性の問題点は、情報処理過程における刺激符号と反応符号の変換処理に関して取り扱われ（Nicoletti et al., 1982, 1984; Umiltà & Nicoletti, 1990; Wallace, 1971）、情報処理過程における運動プログラムの構築にどのような影響を及ぼし、それが末梢の運動制御にどう関わっているのかは未解決の問題である（Zelaznik & Franz, 1990）。したがって、S-R 整合性が、選択反応時間と動作パフォーマンスに対し



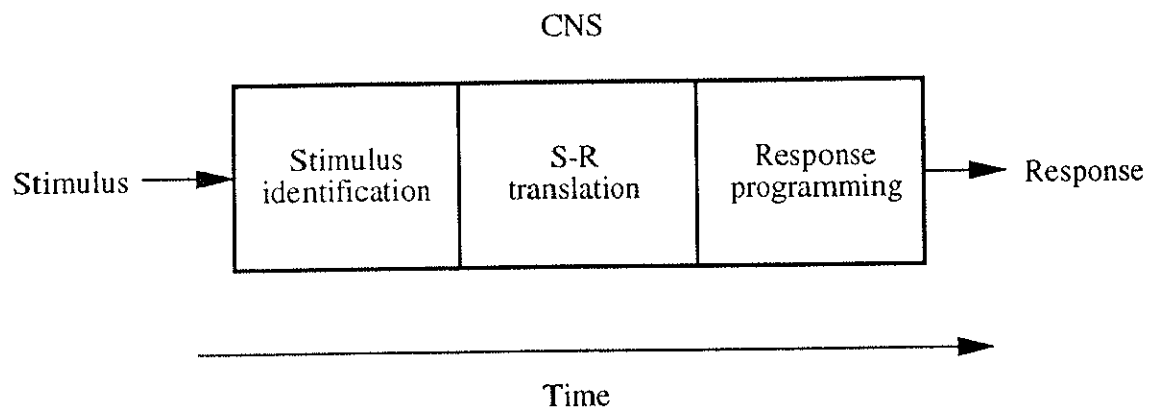
**Fig. 1** Schematic showing of major information flow model and anatomical pathway model in voluntary motor response.

てどのように影響しているのかを検討することは、知覚-運動スキルのさらなる理解に貢献するだけでなく、スポーツ競技場面や運動スキルの学習にも有効利用できると考えられ、体育科学にとって重要性の高い問題である。

## 第2節 研究の目的

S-R 整合性は、刺激だけの特徴や反応だけの特徴によって決まるのではなく、刺激セットと反応セットの空間的な配列が一致するときの方が、一致しないときよりも速い反応が行えるという現象である (Fitts & Deininger, 1954; Fitts & Seeger, 1953)。基本的な実験パラダイムは、身体正中面を基準として右または左視野に位置する2つの光刺激に対して、右または左手での反応を選択する課題である。この時、反応する手に関係なく、刺激と反応動作を行う空間的な位置関係が一致するときを整合 (compatible)、一致しないときを不整合 (incompatible) といい、刺激と反応の関係が整合であるときの方が、不整合であるときより反応時間は速くなる (Nicoletti et al., 1982, 1984; Proctor & Reeve, 1990; Umiltà & Nicoletti, 1990)。

反応時間を決定する中枢の情報処理過程を理解するために、基本的に3つの情報処理段階から構成される人間情報処理モデルがある (図2)。まず、刺激の同定段階で刺激を符号化し、S-R 変換段階で刺激符号を意図した反応符号へ変換し、反応プログラミング段階で反応符号から運動プログラムを構築する。その運動プログラムを骨格筋へ送ることによって反応動作が起こると考えられている (Henry & Rogers, 1960; Keele, 1968; Klapp, 1977; Klapp & Wyatt, 1974; Schmidt, 1988, 1991)。数多くの先行研究では、S-R 整合性の効果は、情報処理過程におけるS-R 変換段階での刺激符号と反応符号の変換処理に浪費する時間の差異であると報告されてきた (cf., Proctor & Reeve, 1990)。つまり、刺激位置に関して符号化される刺激符号と反応を実行する位置に関して符号化される反応符号が一致している方が (i.e., left/left, right/right)、一致していない (i.e., left/right, right/left) ときよりも符号の変換処理に時間がかからないため反応時間が短くなるというものである。しかし、Kornblum et al. (1990) は、刺激の特徴と反応の特徴が重複するとき、刺激を符号化する段階で、刺激符号の特徴に関連する反応符号が、実行者の意図とは関係なく反応プログラミング段階で自動的に賦活するというモデルを提案した。これは、S-R 整合性がS-R 変換段階における符号変換の処理時間と反応プログラミング段階における反応符号の修正時間に



**Fig. 2** Schematic diagram of basic 3-stage model of human information processing. CNS: central nervous system.

よって起こるといふものである。このとき、反応プログラミング段階において S-R 変換段階で企画した反応符号と自動的に賦活した反応符号との間で競合が生じるのであれば、運動プログラムの構築に対して何らかの影響があると考えられる。つまり、中枢での情報処理時間だけでなく、運動プログラムによって制御される反応動作パフォーマンスに対しても S-R 整合性が影響する可能性がある。しかしながら、この仮説を明らかにした研究は報告されていない。

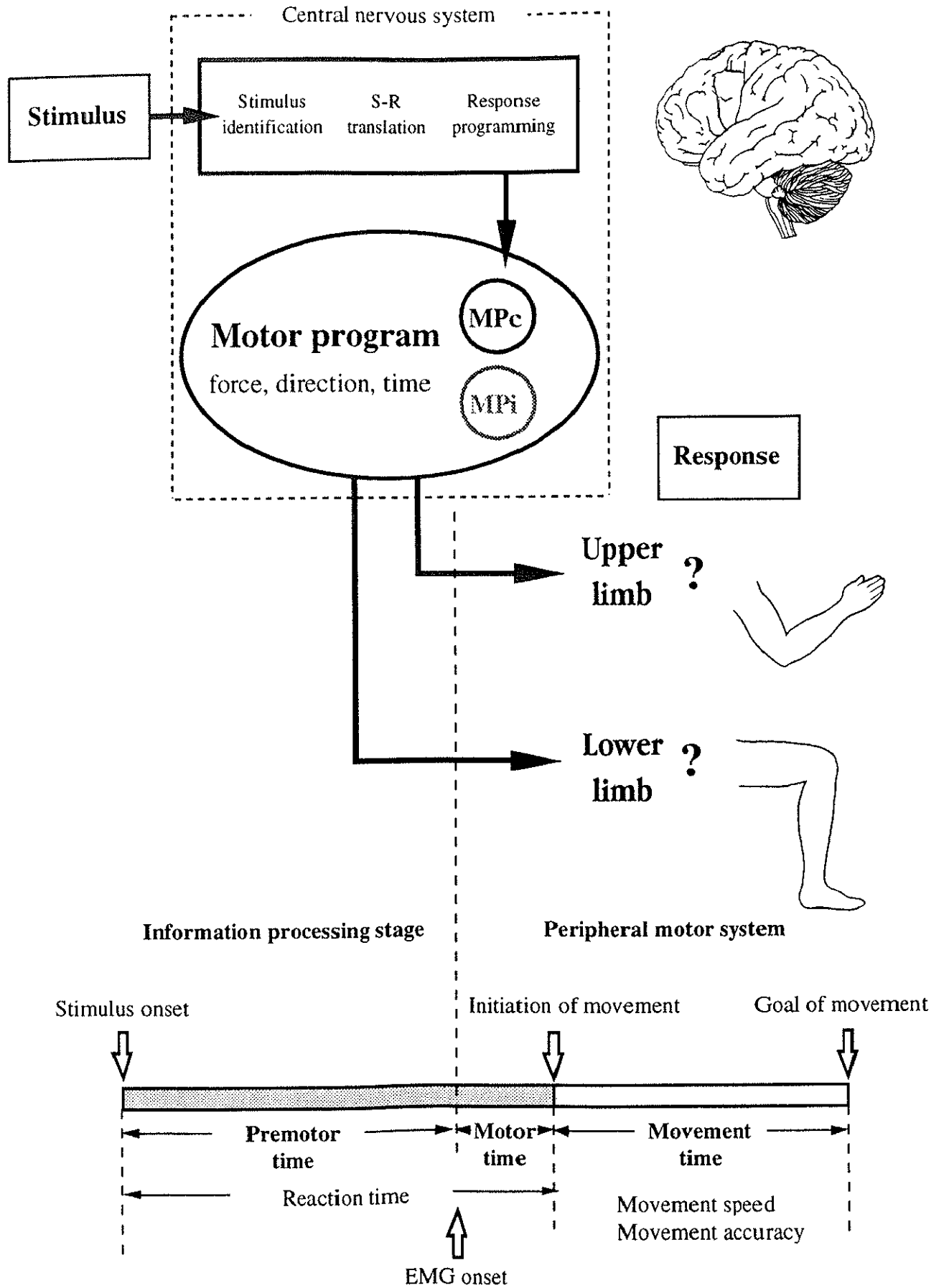
一方、反応プログラミング段階で構築された運動プログラムは、1次運動野から脊髄  $\alpha$  運動ニューロンを経て骨格筋を収縮させると考えられる (Evarts, 1984)。 $\alpha$  運動ニューロンと筋線維からなる運動単位は、反応動作を行う効果器によって、その数や支配比がそれぞれ異なり (Buchthal & Schmalbruch, 1980)、運動単位の動員のされ方も異なっている (Basmajian & De Luca, 1985)。そのため上肢では微細な張力制御が可能であるが、下肢は粗大な張力制御しかできない。もし、S-R 整合性が、運動プログラムの構築に対して影響しているのであれば、運動制御様式の異なる上肢と下肢では、整合反応と不整合反応の運動プログラムが実行されるときに反応動作パフォーマンスにも差異を生じさせると考えられる (図3)。

そこで、本研究の主要な目的は、S-R 整合性が異なる運動肢の反応動作パフォーマンスにどのように影響するかを検討することにより、S-R 整合性が情報処理過程の S-R 変換段階における符号の変換処理時間だけでなく、反応プログラミング段階での運動プログラム構築にも関与しているのかどうかを明らかにすることである。

### 第3節 用語の定義

#### 1. 刺激-反応整合性 (S-R compatibility)

選択反応課題において、いくつかの刺激セットからいくつかの反応セットを対応させて、刺激に対する反応動作を起こすとき、S-R の組み合わせ中でその特徴がより自然であり、反応時間がより速くなる組み合わせのものを整合といい、反応時間のより遅くなる組み合わせのものを不整合という (Fitts & Seeger, 1953; Proctor & Reeve, 1990; Rosenbaum, 1991; Schmidt, 1988, 1991)。また、刺激-反応 (S-R) 整合性は、3つのタイプに分類される (Simon et al., 1981)。1つは、刺激と反応が言語的特徴で関連づけられる記号的 S-R 整合性 (symbolic S-R compatibility) である。2つ目は、要求される反応の位置と刺激信号の位



**Fig. 3** Schematic drawing of working hypothesis in the present study. MPc: motor program of compatible response, MPi: motor program of incompatible response, EMG: electromyogram.

置で引き起こされる空間的 S-R 整合性 (spatial S-R compatibility) である。3 つ目は、刺激の発生源に向けて反応する本能的傾向によって引き起こされるという Simon の効果である。

本研究において用いる S-R 整合性とは、すべて空間的 S-R 整合性のことを指す。

## 2. S-R 整合性の効果 (S-R compatibility effect)

本研究において用いる S-R 整合性の効果とは、整合課題と不整合課題との間に生じる、すべての測定パラメーターにおける差異のことを指す。

## 3. 反応時間 (reaction time)

刺激が1つしかなく、その発現の有無だけを判断し、前もって決められた1つの反応動作を起こすような条件で測定される反応時間を単純反応時間 (simple reaction time) といい、刺激が複数あり、それぞれの刺激が異なる反応動作を指示する条件で測定される反応時間を選択反応時間 (choice reaction time) という (西澤・浅見, 1978; Rosenbaum, 1991)。

反応時間を測定する際は、動作による機械的な応答と筋神経的な応答を考えなければならない (浅見, 1971)。そこで本研究では、筋電図 (EMG: electromyogram) 計測を行うことにより、反応時間を中枢性因子と末梢性因子に分離した (Magil, 1993; Weiss, 1965; Schmidt, 1988)。つまり、刺激の呈示から筋放電開始までの時間を Premotor time (PMT)、動作開始による機械的応答時間を Reaction time (RT)、筋放電開始から動作が開始するまでの時間を Motor time (MT) として測定する (図 3)。

## 4. 反応動作パフォーマンス (motor response performance)

刺激を認知してから反応を実行するまでの情報処理時間を速くし、さらに随意的な反応動作において素早く正確な運動を遂行するには、オープンループ制御主体の動作を行わなければならない (大築, 1988; Schmidt, 1988, 1991)。このような反応動作のパフォーマンスには、次のものが挙げられる。

刺激を認知してから反応を実行するまでは、① 反応時間の素早さ、② 反応の正確性であり、反応動作が開始されてから目標とした動作が完了するまでは、③ 動作速度、④ 動作の正確性、安定性などがある。

## 5. 運動プログラム (motor program)

運動プログラムとは、一連の動作がなされる前に構造化されている一連の筋に対する指令であり、末梢フィードバック情報の影響を受けない (Keele, 1968)。遂行される動作の中でも変化しない性質の時間-空間的タイミングなどを一般化された運動プログラムといい、速度、方向、大きさといった変化する性質を運動プログラムのパラメーターという (Gentner, 1987; Heuer, 1991; Schmidt, 1988)。

本研究では、同じ反応動作を要求しているにもかかわらず、動作の構成要素 (速度、方向、大きさ etc.) の中で変化する性質のものを運動プログラムのパラメーターと定義する。

## 6. 半側空間 (hemispace)

Heilman and Velenstein (1979) は、身体、頭、その両方の中心線に対して左、または右の内部・外部空間を半空間的な場所を半側空間 (hemispacial field) と定義した。半側空間は、身体中心線が、空間を左と右に分離するような自己中心的調整システムに基づいている。左半側空間は、身体・頭の中心線に対して左側の空間のことであり、右半側空間は、右側の空間のことである。

## 7. 空間制御動作、力量制御動作 (spatial control movement, force control movement)

本研究で用いる反応動作とは、オープンループ主体の運動制御に焦点を当てているため、フィードバックによる修正動作の伴わない反応動作のことを指している。空間制御動作は、様々な関節角度を目標値とし、予め設定された関節角度まで素早く動作してもらう課題である。力量制御動作は、様々な力量を目標値とし、予め設定された力量を素早く発揮してもらう課題である。

## 8. 脳磁図 (MEG: magnetoencephalogram)

MEG は、神経細胞の活動 (電氣的活動) によって生じる磁場を SQUID (superconducting quantum interference device) 磁束計で計測したものである。錐体細胞型の神経細胞の場合、細胞内電流は1方向に流れるので、その周りには磁場が生じることになる。大脳皮質では錐体細胞の樹状突起が、皮質表面に対して垂直に並んで配列されているため、個々の錐体細胞の細胞内電流が加算的になって頭の外側で観測可能な磁場が形成される (南部, 1994)。MEG は、磁場が脳脊髄液、頭蓋骨、頭皮の影響を受けないために、活動源の推定精度が非常に高いという特徴を持つ。しかし、脳は球形に近い形状をしているため、計測可能な



MEG は脳溝の神経活動に限定される。

#### 9. 自動的賦活 (automatic activation)

Georgopoulos et al. (1989) は、猿における運動皮質の活動を記録すると、反応する方向とは関係なく、標的刺激の呈示位置と空間的に一致している方向への反応を制御する運動野細胞が選択的に賦活することを報告した。本研究で用いる自動的賦活とは、随意的制御と独立しており、実行者の意図とは関係なしに刺激によって引き起こされ、その刺激に対して興味がなくても反応を止めることができない現象のことを指す (Kornblum et al., 1990)。

### 第4節 研究の限界

#### 1. 測定方法による限界

本研究の測定において、Premotor time, Motor time は表面筋電図 (EMG) を用いてデータ収集が行われる。感覚器から脳, 脳から効果器への神経伝達時間は一定であると考え、Premotor time が中枢での情報処理時間を表すと仮定する。Motor time の遅速は、運動単位の動員の遅速に関係しており、中枢からの運動プログラムの指令によって変化すると仮定する (Bonnet et al., 1981; Requin et al., 1991)。本研究で用いた反応動作の課題完了までの動作が、運動プログラムにより制御されると仮定する。また、脳磁図 (MEG) 計測による運動野神経活動は、推定された等価電流ダイポールでの活動強度で表現できることを作業仮説として結論が導かれる。

#### 2. 対象による限界

本研究における対象は、筑波大学に所属する 18~25 歳までの健常な男子学生ならびに大学院生である。彼らが一般成人男性の母集団を代表しているという作業仮説のもとで結論が導かれる。したがって、児童、高齢者、または女性に対しても同様の結論が得られるとは限らない。

#### 3. 統計解析法による限界

本研究で得られるデータは、正規分布するという作業仮説に基づき、パラメトリック統計手法によって処理される。統計的な有意水準は、全て 5% とした。