

1章 緒言

人間の日常生活は、随意運動を媒介として自分をとりまく環境に働きかけることによって成り立っている。例えば、身体運動やスポーツ活動はもちろん、日常的に行っている「歩く・走る・運ぶ」などの移動行為や「食べる・飲む」などの生命保持行為、「書く・読む・話す」などの情報伝達行為は、すべて手や足、顔の骨格筋の収縮によって行われる随意運動であり、動物の日常動作とは大きく異なる。したがって、脳スライスを用いた分子・細胞レベルの研究や実験動物を用いてヒトの随意運動に伴う脳機能について研究することは不可能である。また、頭蓋骨を切開して電極を埋め込むといった動物の実験法を健全なヒトに対して施すことも不可能である。つまり、ヒトの随意運動に伴う脳の活動状態について研究するためには、非侵襲的な方法を用いてしかも自然な動作遂行中にヒトの生理的現象を記録することによって推定する以外に方法はない。

随意運動は、自発的 (self-paced) な運動と陸上競技のスタートにおける「用意、ドン」といった外的刺激によって促されて生じるものの 2 つに大きく分類される (池田と柴崎, 1995)。ヒトの随意運動は種々の感覚刺激を知覚後、それらを認知・判断し、実行の意志決定を行うといった中枢内での一連の情報処理過程を経て実行される (図 1)。一方、運動は目的性をもち、しかも外界に対する働きかけとして行われるものであるから、目的に合った運動を如何に発現させるか、外界情報をどのようにして運動系に取り入れ、運動の発現・遂行の過程を進めて行くかの 2 点は解決しなければならない (丹治, 1996)。

これらの問題を解決するために、体育科学の分野においてもヒトの運動制御に関する研究が反応時間 (reaction time: RT) を指標に用いて盛んに行われるようになり、多くの知見を得てきた (猪飼ら, 1961; Asami et al., 1964, 浅見, 1971)。しかし、RT のみを指標とした研究は主として末梢レベルの研究であり、RT の遅速に及ぼす中枢レベルの要因については推察する以外になかった (竹内と丹羽, 1997)。そこで、1960 年代に RT を筋電図で測定する方法が確立され、刺激から筋放電開始時間までの潜時 (EMG-RT) と実際の運動開始までの潜時 (motor time: MT) に分けて考えられるようになった。そして、RT

随意運動 $\left\{ \begin{array}{l} \text{自己ペース (self-paced) で生じる} \\ \text{外的刺激に促されて生じる} \end{array} \right.$

(池田と柴崎, 臨床神経学, 1995)

体育科学の分野におけるヒトの運動制御に関する研究

1. 末梢レベルの研究

- (1) 反応時間 (RT) を指標に用いた研究 (猪飼ら, 1961; Asami et al., 1964; 浅見, 1971)
- (2) 筋電図反応時間 (EMG-RT) を指標に用いた研究 (河辺と大築, 1982; Ohtsuki, 1981)
- (3) H-reflexを用いた研究 (浅見, 1971; Tanaka, 1974; Komiyama and Tanaka, 1990)

2. 中枢レベルの研究

- (1) 脳波を指標に用いた研究 (萩原と調枝, 1975; 荒木ら, 1981)
- (2) 事象関連電位を指標に用いた研究 (西平ら, 1978; Nishihira et al., 1999; 麓ら, 1999)

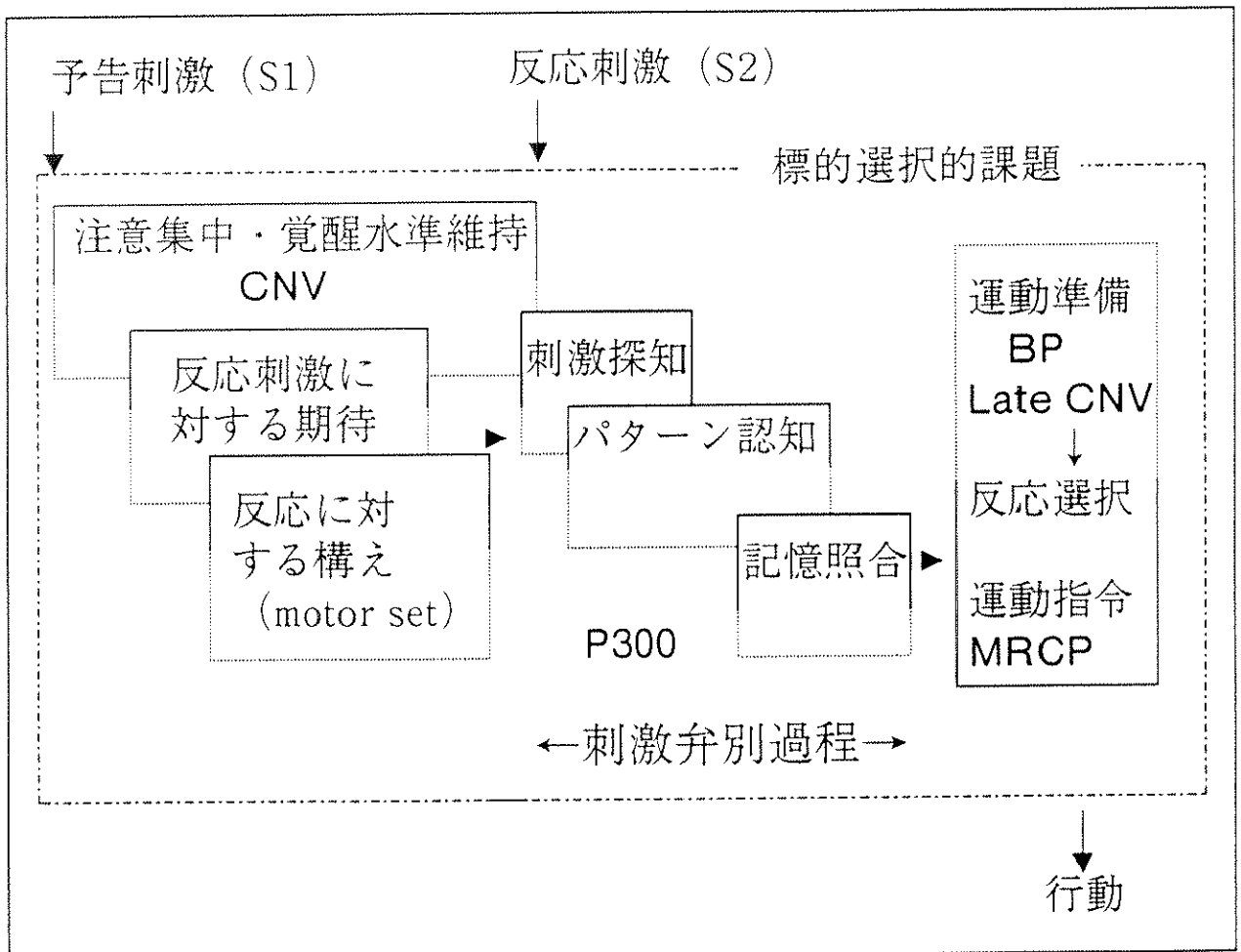


図1 外的刺激に促されて生じる随意運動に伴う情報処理過程の模式図 (松岡, 1997改変)

を EMG-RT と MT とに分けることにより、中枢と末梢の過程をある程度弁別することが可能となった。しかし、結局 RT や EMG-RT を指標とした研究には限界があり、1970 年代後半から脳内の情報処理過程の研究に事象関連電位 (event-related potentials: ERPs) が導入され、ERPs と EMG-RT の両方の指標を用いてヒトの随意運動に伴う情報処理過程について研究が行われるようになった。

近年、ヒトの高次脳機能を非侵襲的に研究する手段として脳波周波数解析 (Weiss et al., 1995; Pfurtscheller et al., 1996; Oddie and Bland, 1998) や PET (Cunnington et al., 1997; Kawashima et al., 1998), MEG (Cheyne et al., 1997; Stippich et al., 1998), fMRI (Hikosaka et al., 1996; Luft et al., 1998) などがあり、それぞれの手法を用いて随意運動に伴う脳機能について盛んに研究が行われている。特に、脳波の中には加算平均によって誘発される刺激関連性の誘発電位 (evoked potential: EP) と被検者にある刺激に対して課題を課したときに誘発される課題関連性の ERPs がある。ヒトの全般的な注意を反映すると考えられている随伴陰性変動 (contingent negative variation: CNV) や中枢レベルの出力系の指標である運動関連脳電位 (movement-related cortical potential: MRCP), ヒトの認知情報処理過程を反映すると考えられている P300 などはいずれも ERPs である。ERPs は、外的刺激あるいは内的認知活動によって誘発される神経細胞の同期した電気的興奮が、いくつかの陽性あるいは陰性の成分として出現し、それぞれが一定の情報処理過程を反映すると考えられているため (山口, 1998), ERPs はヒトの脳と運動との関連、認知機能を研究するうえで重要であり、感覚刺激が脳に入力されてから筋運動として実際に動作が出現するまでの一連の中枢内機構を知るうえで有効である。つまり、ERPs は感覚刺激の入力から中枢内における統合過程、さらには EMG-RT による出力系の情報を同じ時間系列で、しかも、ミリ秒オーダーの高い時間分解能で評価できる利点がある。そして、RT や EMG-RT だけでは知り得なかった脳内の情報処理過程を推察することが可能となった。特に、刺激後約 300ms 付近で最大陽性電位を示す P300 は、刺激に対する認知情報処理過程を反映し、その潜時は RT と正の相関を示すという報告 (Kutas et al., 1977; Pfefferbaum et al., 1983; 平松ら, 1985; Patterson et al., 1988) が多い。そのため、P300 はヒトの脳と

運動との関連性について研究する上で重要な指標であると考えられる。しかし、体育科学の分野において、ERPs を指標としてヒトの随意運動に伴う脳の活動状態について研究した報告（Nishihira et al., 1999; 麓ら, 1999）は少なく、研究の意義と必要性があると考えられる。さらに ERPs によって、個々の被検者の課題遂行中の精神状態や脳内の情報処理過程の特徴を推察することが可能であるため、得られた知見は体育科学の分野に十分貢献できると考えられる。

そこで本研究では、感覚刺激の入力系については体性感覚誘発電位（somatosensory evoked potentials: SEPs）を、感覚刺激が脳に入力されてから筋運動として実際に動作が出現するまでの一連の情報処理過程については ERPs を指標としてミリ秒オーダーの時間的尺度、EP と ERPs の頭皮上分布からヒトの随意運動に伴う中枢内情報処理過程について検討した。さらに、課題遂行中の背景脳波活動が ERPs を評価する上で有効であるため（Polich, 1997）、背景脳波活動も併せて指標に加え、ヒトの随意運動に伴う脳の活動状態について非侵襲的に検討した。