

第8章 総括

第1節 総括的考察

刺激-反応 (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)。刺激呈示から反応開始までの基本的な人間情報処理モデルは、3つの情報処理段階で構成され、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 (Nicoletti et al., 1982, 1984; Proctor & Reeve, 1990; Umiltà & Nicoletti, 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), 一致していないとき (i.e., left/right, right/left) 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、刺激が呈示されると情報処理過程において反応符号の自動的な賦活処理が起こるという次元の重複モデルを提案し、S-R 整合性が S-R 変換段階のみの問題でないことを報告した。もし、反応プログラミング段階において S-R 変換段階で選択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、反応動作パフォーマンスにも S-R 整合性が影響する可能性がある。

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 α 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)。 α 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。

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における S-R 変換段階での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った。

研究課題 1 では、筋電図 (EMG) 計測によって反応時間を Premotor time と Motor time に分け、S-R 整合性が異なる運動肢の選択反応時間に及ぼす影響を検討した。その結果、上肢、下肢ともに Premotor time に対する S-R 整合性の効果が認められ、さらに下肢において Motor time に対する S-R 整合性の効果が認められた (実験 1, 2)。中枢性指令による脊髄 α 運動ニューロンの興奮性を表す Motor time の遅速 (Bonnet et al., 1982; Requin et al., 1991) に S-R 整合性の効果があったことより、S-R 整合性は運動プログラムのパラメーターに対して何らかの影響を及ぼしていると推察された。また、反応動作空間を変えても Premotor time に対する S-R 整合性の効果が変化しなかったことより、S-R 整合性を説明する情報処理モデルには、符号化モデルが適切であると考えられた。

研究課題 2 では、筋電図 (EMG) 計測によって反応時間を Premotor time と Motor time に分け、さらに半側空間への選択的注意と S-R 整合性が異なる運動肢の選択反応時間に及ぼす影響を検討した。Go/No-go 反応課題 (実験 3) では、Premotor time, Motor time に対する S-R 整合性の効果が消失した。選択的注意課題 (実験 4) では、Premotor time に対する S-R 整合性の効果が増加するにしたがい、下肢の Motor time に対する S-R 整合性の効果が認められた。これらのことより、情報処理過程における S-R 変換段階での符号の変換処理に要する時間が延長するほど、運動プログラムの構築に対して S-R 整合性が影響すると推察された。また、研究課題 1 で生じた下肢における Motor time の遅速は、反応準備状態の差異ではなく、S-R 整合性の効果であることが示唆された。

研究課題 3 では、研究課題 1, 2 で明らかになった運動プログラムに対する S-R 整合性の効果が、どのパラメーターに対して影響しているのかを明らかにするため、空間制御課題 (実験 5)、力量制御課題 (実験 6) を用いて検討した。その結果、S-R 整合性は、空間制御パフォーマンスに影響しなかったが、力量制御パフォーマンスに対しては影響することが認められた。したがって、S-R 整合性は、運動プログラムの角度パラメーターに影響しないが、運動単位の動員に密接な関わりを持つ力量パラメーターには影響することが示唆された。

研究課題4では、脳磁図（MEG）計測によって運動野神経活動を時系列的に分析し、S-R 整合性が異なる運動肢の反応プログラミングに及ぼす影響を検討した（実験7）。その結果、上肢、下肢ともに MEG データを刺激呈示に同期させて加算平均を行うと、Premotor time の潜時に関係なく、どの条件においても一定の潜時で刺激位置に関連した側の運動野が自動的に賦活することが認められた。さらに、MEG データを EMG onset に同期させて加算平均を行うと、整合反応における1次運動野の神経活動強度の方が、不整合反応よりも有意に強いことが認められた。つまり、整合反応は、自動的に賦活する運動野と反応動作を指令する運動野の準備活動が、同じ運動野で起こっているため、反応実行に関する1次運動野の神経活動をより高めることができると考えられた。しかし、不整合反応では、自動的に賦活と反応動作を指令する運動野の賦活が、異なる脳半球で行われ、さらに自動的に賦活から反応実行までの潜時が長いため、反応実行に関する1次運動野の神経活動に自動的に賦活を利用できないと考えられた。これらのことより、S-R 整合性における情報処理過程は、自動的に賦活の処理系と反応実行に関する処理系が並列的に情報処理を行い、自動的に運動野への賦活系が反応プログラミング段階での運動プログラム構築に影響を及ぼしていると示唆された。

本研究の結果より、S-R 整合性は、情報処理過程におけるS-R 変換段階での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における運動プログラムの構築に対して影響していることが示唆された。つまり、刺激に関連した運動野の自動的に賦活処理が、整合反応のための運動プログラム構築に有利に働き、不整合反応のための運動プログラム構築には不利に働くということが明らかになった。それは、反応プログラミング段階において自動的に賦活する反応符号が、整合反応を実行するための反応符号と同じであり、不整合反応を実行するための反応符号とは異なるからであると考えられた。また、S-R 整合性は、運動プログラムの力量パラメーターに対して影響し、それは、上肢の反応動作パフォーマンスにおいて顕在化しないが、下肢の反応動作パフォーマンスで顕在化することが推察された。

第2節 結論

1. 研究課題1では、筋電図（EMG）計測によって反応時間を Premotor time と Motor time に分け、S-R 整合性が異なる運動肢の選択反応時間に及ぼす影響を検討した。

実験1では、上肢と下肢の違いによって、S-R 整合性の Premotor time, Motor time に対する効果を検討した。その結果、Premotor time に対する S-R 整合性の効果は、上肢、下肢にかかわらず約 40~50 ms であった。Motor time に対する S-R 整合性の効果は、上肢には認められず、下肢において約 10 ms であった。また、単純反応課題での Motor time と比較すると、上肢に差異は認められなかったが、下肢では整合反応でさえ約 10 ms 遅延することが認められた。

実験2では、異なる反応動作空間における S-R 整合性の Premotor time, Motor time に対する効果を検討した。その結果、上肢、下肢ともに Premotor time に対する S-R 整合性の効果は、反応動作空間の違いに影響されなかった。また、下肢においては反応動作空間の違いには関係なく、Motor time に対する S-R 整合性の効果が認められた。

これらの結果より、中枢での情報処理時間は、運動肢が異なっても同じであり、情報処理時間に対する S-R 整合性の効果は、S-R 変換段階における刺激符号から反応符号への変換処理の差異によるという符号化モデルが適切であることが確認された。また、下肢の反応動作を制御する運動プログラムのパラメーターが S-R 整合性の効果を受けていると示唆された。これらのことより、反応プログラミング段階において自動的に賦活される反応符号と実行すべき反応動作に関する反応符号の間に競合が生じているという情報処理モデルが考案できた。

2. 研究課題2では、筋電図（EMG）計測によって反応時間を Premotor time と Motor time に分け、さらに半側空間への選択的注意と S-R 整合性が異なる運動肢の選択反応時間に及ぼす影響を検討した。

実験3では、Go/No-go 反応課題を用い反応準備状態の違いと S-R 整合性が Premotor time, Motor time に及ぼす影響を検討した。その結果、上肢、下肢における Premotor time, Motor time は、S-R 整合性の効果を受けず、反応準備状態が低下するほど遅延することが認められた。

実験4では、半側空間への選択的注意配分の違いと S-R 整合性が Premotor time, Motor time に及ぼす影響を検討した。その結果、2つの刺激への注意配分が増加するに

したが、Premotor time に対する S-R 整合性の効果は、上肢、下肢ともに増加することが認められ、80% 注意配分で 20~25 ms、60% 注意配分で 30~35 ms であった。Motor time に対する S-R 整合性の効果は、下肢の60% 注意配分でのみ認められた。

これらの結果より、情報処理過程の S-R 変換段階において符号変換処理に時間がかかるほど、反応プログラミング段階で準備されている反応符号と実行すべき反応動作に対する反応符号が競合することになり、S-R 整合性が運動プログラムのパラメーターに影響すると推察された。

3. 研究課題 3 では、S-R 整合性が異なる運動肢の動作パフォーマンスに及ぼす影響を検討した。

実験 5 では、動作角度 15, 30, 45, 60° への空間制御動作を反応課題とし、S-R 整合性が Premotor time, Motor time, 動作時間, 動作角度のピーク値, 動作速度, 動作の安定性に影響を及ぼすのかを検討した。その結果、上肢、下肢ともに Premotor time に対する S-R 整合性の効果が認められた。また、どの角度条件でも下肢には Motor time に対する S-R 整合性の効果が認められた。しかし、どの条件においても動作時間, 動作角度のピーク値, 動作速度, 動作の安定性に対する S-R 整合性の効果は認められなかった。

実験 6 では、20, 40, 60, 80% MVC への力量制御動作を反応課題とし、S-R 整合性が Premotor time, Motor time, 力量発揮時間, 力量発揮のピーク値, 力の立ち上がり, 力量発揮の安定性に影響を及ぼすのかを検討した。その結果、上肢、下肢ともに Premotor time に対する S-R 整合性の効果が認められたが、Motor time に対する S-R 整合性の効果は認められなかった。また、どの力量発揮条件でも動作時間に対する S-R 整合性の効果は認められなかった。しかし、下肢による 40% MVC 以上の力量発揮条件において、力量発揮のピーク値と力の立ち上がりに対して S-R 整合性の効果が認められた。

これらの結果より、S-R 整合性は、運動プログラムの時間パラメーター、角度パラメーターには影響しないが、力量パラメーターに対して影響することが示唆された。

4. 研究課題 4 では、脳磁図 (MEG) 計測によって運動野神経活動を時系列的に分析し、S-R 整合性が異なる運動肢の反応プログラミングに及ぼす影響を検討した (実験 7)。その結果、上肢、下肢ともに MEG データを刺激呈示に同期させて加算平均を行うと、Premotor time の潜時に関係なく、どの条件においても一定の潜時で運動野が自動的に賦

活することが認められた。さらに、運動野の活動強度は、刺激位置に関連した側で優位になる傾向を示した。さらに、EMG onset に同期させて加算平均を行うと、右手を除く全ての反応動作において、S-R の空間的配列が同側のときの等価電流モーメントの方が、S-R の空間的配列が対側であるときよりも有意に強いことが認められた。

これらの結果より、反応実行に関する1次運動野の神経活動強度は、整合反応の方が不整合反応よりも優位であることが認められた。またそれは、刺激位置に関連して生じる自動的賦活の処理系が、整合反応を指令する1次運動野で強い神経活動を生起させるのに有効に働くのに対し、不整合反応を指令する1次運動野では有効に機能しないためであることが明らかになった。したがって、上肢と下肢のように運動肢が異なったとしても、S-R 整合性における情報処理過程は、自動的賦活の処理系と反応実行に関する処理系が並列的に情報処理を行っていることが示唆された。さらに、S-R 整合性では、反応プログラミング段階における自動的賦活による反応符号と反応実行のための反応符号の衝突が、運動プログラムの構築に影響を及ぼしていることが解明された。

第3節 今後の課題

本研究の結果より、S-R 整合性は、情報処理過程においてS-R 変換段階における符号の変換に要する処理時間と反応プログラミングで構築される運動プログラムにも影響することが明らかとなった。今後の課題として、① S-R 整合性の情報処理メカニズムをさらに探究すること、② スポーツ・身体運動場面における S-R 整合性の応用などが挙げられる。

1. 刺激に関連して生じる1次運動野での自動的賦活の非対称性は、S-R 配列の認知的方略 (strategy) の違いや解剖学的要因を除去すること (e.g., crossed hand paradigm) によって変化するのか？
2. ボールを投げる、物を掴むといった複雑な運動プログラムの構築が必要な反応動作を用いた場合、運動プログラムに対する S-R 整合性の効果は大きくなるのか？
3. バasketボールのパスやテニスのレシーブといった S-R が空間的關係にあるスポーツ場面で S-R 整合性が応用できるのか？