

## 第2章 文献研究

### 第1節 基本的な情報処理モデルに関する研究

一般的に情報処理モデルは、刺激と反応などの環境を操作し、そこで観察される行動を評価することによって、上位中枢での精神作用を推論することを可能にしている。人の情報処理モデルでは、少なくとも情報処理を段階 (stage) と見なす基本的な3つの作業仮説がある。初めに情報処理段階は、それぞれ分離しており重複することはないと考えられており、それぞれの段階は、その中で利用できる情報のみを処理すると仮定している。次に情報は、それぞれの段階内で変換処理され、そして連続的に次の段階へ伝達される。最後に段階内における情報処理は、時間を要求するというものである (Donders, 1969; Sternberg, 1969; Theios, 1975)。

情報処理が時間を要求するという前提は、人間情報処理の研究において時間計測的アプローチが有効であることを示している (Posner, 1978; Sternberg, 1969)。時間計測的アプローチでは、刺激呈示から反応開始までの反応時間 (reaction time) を用いて、情報処理過程を推論している。情報処理アプローチにおける反応時間は、刺激を同定し、適切な反応を選択し、反応プログラミングを行うとき要求される情報処理の時間であると仮定されている (図1, p. 4)。実験的な要因によって引き起こされる反応時間の変化は、他の要因を排除した実験デザインを用いることによって、特定の情報処理段階における処理の変化を推察することができる (Hasbroucq et al., 1989)。

### 第2節 情報処理モデルと反応時間に関する研究

情報処理過程における刺激同定段階 (stimulus identification stage) は、環境的情報の検出、符号化、階級化を含んでいる。この段階内において、外部環境からの情報は関連する刺激符号に変換され、S-R 変換段階 (S-R translation stage) へと送られる (Sternberg, 1969)。刺激同定段階は、一般的に刺激を符号化する速度に関連すると考えられている。この段階での処理は、呈示される刺激の物理的性質に大きく左右される。例えば、刺激の明瞭さや強度は、刺激同定段階に影響する (Posner, 1978; Schmidt, 1988; Sternberg, 1969)。

S-R 変換段階は、情報処理過程の2つ目の段階である (Teichner & Krebs, 1974)。この段階は、数多くの選択肢の中から適切な反応を選択することに関連している。研究者達は、

選択反応における選択肢の数が S-R 変換段階に影響することを調査するために反応時間パラダイムを用いている (Hick, 1952; Hyman, 1953)。

Hick (1952) と Hyman (1953) は、刺激-反応の選択肢の数を操作し、選択肢の数を増加させるに従い反応時間が長くなることをみつけた。彼らは、選択反応時間が、刺激選択肢の数の  $\log_2$  に関して直線的であることを報告した (i.e.,  $RT = a + b \cdot \log_2 N$ )。この Hick の法則は、S-R 変換段階における選択反応が反応時間に影響していることを説明するのに適切である。

S-R 変換段階に影響するもう 1 つの重要な要因は、刺激セットと反応セットの配列関係の程度による刺激-反応 (S-R) 整合性である。S-R 整合性は、刺激と反応の関係が、自然な、または明白な次元で繋がっていることに広く言及されている (Umiltà & Nicoletti, 1990; Simon, 1969, 1990)。典型的な選択反応課題による S-R 整合性の研究において、被験者は、2 つの光刺激のどちらか一方の発光に対して、2 つの反応キーのどちらか一方を左か右の人差し指で押すことによって反応する。Fitts and Seeger (1953) の定義によれば、光刺激に対する反応キーの配列が、空間的に似たような構成で配列される S-R の組み合わせは整合であり (e.g., 左の光刺激が左人差し指の反応に割り当てられるとき)、空間的に異なる構成で配列される S-R の組み合わせは不整合である (e.g., 左の光刺激が右人差し指の反応に割り当てられるとき)。

反応プログラミング段階 (response programming stage) は、筋に送られる命令セットに反応符号が、どのように変換されるかに関連していると考えられている (Henry & Rogers, 1960; Schmidt, 1988)。Henry and Rogers (1960) は、異なる 3 つの動作条件についての単純反応時間を比較した。動作は、それぞれ複雑性が異なっており、最も簡単な動作は単純な指の持ち上げで、正確性は要求されなかった。次に複雑なのは指を持ち上げボールをつかむために腕を伸ばす動作で、最も複雑な動作は、指を持ち上げ、ボールをたたき、ボタンを押し、2 つ目のボールをたたくものであった。結果は、反応の複雑性の増加とともに単純反応時間も増加することを示した。したがって反応時間の増加は、反応プログラミング段階において動作をプログラミングするために必要な時間の増加量によると考えられる。

運動スキルのパフォーマンスに関する研究では、動作の運動的な側面だけでなく、情報処理の非運動的な側面に興味を広げ始めた (Larish, 1986; Larish & Frekany, 1985)。これらの研究者達の興味は、ある刺激情報から適切な反応情報へ変換する速さに影響している要因が何かを観察することであった。その中でも刺激セットと反応セットの変換効率に影響す

る要因として注目されるのが、S-R 整合性である (Proctor & Reeve, 1990)。

### 第3節 S-R 整合性と反応選択の情報処理に関する研究

S-R 整合性は、刺激の特徴や反応の特徴だけでなく、刺激と反応との間にある空間的、意味的な関係について言及される。刺激と反応の関係が整合であるときは、S-R 符号の変換処理に対する要求が少なく、結果的に少ないエラーと速い反応時間をもたらす、逆に不整合な関係であるときは、より多くの変換時間が要求され、結果的に数多くのエラーと遅い反応時間をもたらすと考えられている (Fitts & Deininger, 1954; Fitts & Seeger, 1953; Wallace, 1971)。S-R 整合性は、刺激符号を反応符号へ変換することに直接関係しているため、情報処理過程の S-R 変換段階に影響することが示唆されている (Hasbroucq et al., 1989; Reeve & Proctor, 1984)。空間的 S-R 整合性の研究は、最も興味を持たれ、S-R 整合性を説明するための基本的現象として取り上げられている (Brebner et al., 1972; Fitts & Seeger, 1953; Nicoletti et al., 1982; Proctor & Reeve, 1990)。この現象は、刺激セットと反応セットの空間的な配列が自然 (natural) であるときに起きるとされている (Fitts & Seeger, 1953; Nicoletti & Umiltà, 1985; Simon et al., 1970)。

選択反応課題を用いている空間的 S-R 整合性の研究は、不整合な S-R 配列の場合と比較して整合な S-R 配列の方がより速く、正確であることを報告している (Anzola et al., 1977; Brebner, 1979; Nicoletti & Umiltà, 1984)。不整合な S-R 配列が用いられるとき、整合な配列と比べてより複雑な S-R 変換処理が要求され、反応時間が増加するというものである。しかし、通常の手ポジションでは (右手で右のキー、左手で左のキーを操作する)、S-R の空間的な位置関係が、刺激位置と反応効果器であるのか、刺激位置と反応位置であるのか決定することができない。この混同を解決するために、被験者に腕をクロスした位置で反応させる (右手で左のキー、左手で右のキーを操作する) 実験パラダイムが用いられ、S-R 配列における空間的関係の混同を効果的に排除した (Anzola et al., 1977; Berlucchi et al., 1977; Nicoletti et al., 1982; Wallace, 1971, 1972)。腕をクロスする実験パラダイムを用いた研究は、S-R 整合性を決定している決定的な要因が、刺激位置と反応効果器にあるのではなく、刺激位置と反応を行う空間的位置にあることを示唆している (Brebner et al., 1972; Riggio et al., 1986)。

S-R 整合性の効果に対して、反応を行う位置と反応効果器の位置のどちらが相対的貢献

度があるのかを検討した研究では、被験者に人差し指ではなくスティックで反応キーを押すという実験を行っている (Riggio et al., 1986)。腕は通常のポジションであったが、スティックと反応キーの位置関係はクロスしない、またはクロスするであった。つまり、左のスティックは左の反応キー、右のスティックは右の反応キーに割り当てられ (uncrossed)、その逆の条件も割り当てられた (左のスティックは右の反応キー、右のスティックは左の反応キー: crossed)。したがって、反応を行う位置、つまりスティックで操作される反応キーの位置は、反応効果器 (反応を行う腕) の要因から分離されることになる。その結果、腕をクロスする方法と同様に、刺激位置と反応を行う位置 (反応キーの位置) との空間的な関係が、S-R 整合性の効果を決定していることが確認された。以上のことから、S-R 整合性において重要な要因は、「刺激位置と反応位置に関する空間的符号が、一致するか、一致しないか」であることが示唆される。

#### 第4節 S-R 整合性と解剖学的な要因に関する研究

単純反応課題において、刺激を受ける半網膜と反応する手との間の解剖学的繋がりが、反応時間に重要な役割をしていることは疑う余地もない (Anzola et al., 1977; Bashore, 1990; Berlucchi et al., 1977; Berlucchi et al., 1971; Jeeves, 1969, 1972; Poffenberger, 1912)。左または右視野で呈示される刺激に対して同側での手の反応は、対側の手よりも速くなる。なぜなら、解剖学的な神経経路の繋がりは、刺激と同側での反応の方が、対側での反応よりも短いからである。例えば、左視野での刺激は右脳半球で処理され、さらに右脳半球は左手の反応を制御している。すなわち、S-R が同側の場合是一方の脳半球内において情報が処理されるが、対側での反応はもう一方の脳半球へ情報を伝達しなければならない。このとき浪費する余分な時間は数ミリ秒であり、同側での反応は対側での反応よりも約 2~10 ms 速くなる (Bashore, 1990)。対照的に選択反応課題において解剖学的繋がりの影響は重要ではなく、空間的 S-R 整合性が、反応時間を決定するのに最も重要になる。S-R の組み合わせが整合であるものと不整合であるものとの反応時間の差異は、約 40~80 ms である (Anzola et al., 1977; Berlucchi et al., 1977; Bradshaw & Umiltà, 1984; Nicoletti et al., 1982, 1984; Proctor & Reeve, 1985, 1986; Simon, 1968, 1969; Simon & Ruddle, 1967; Verfallia et al., 1990)。

単純・選択反応課題において解剖学的繋がりによる影響と S-R 整合性による影響の違いは、被験者の手を解剖学的位置に置くととき、クロスした位置に置くという実験によって

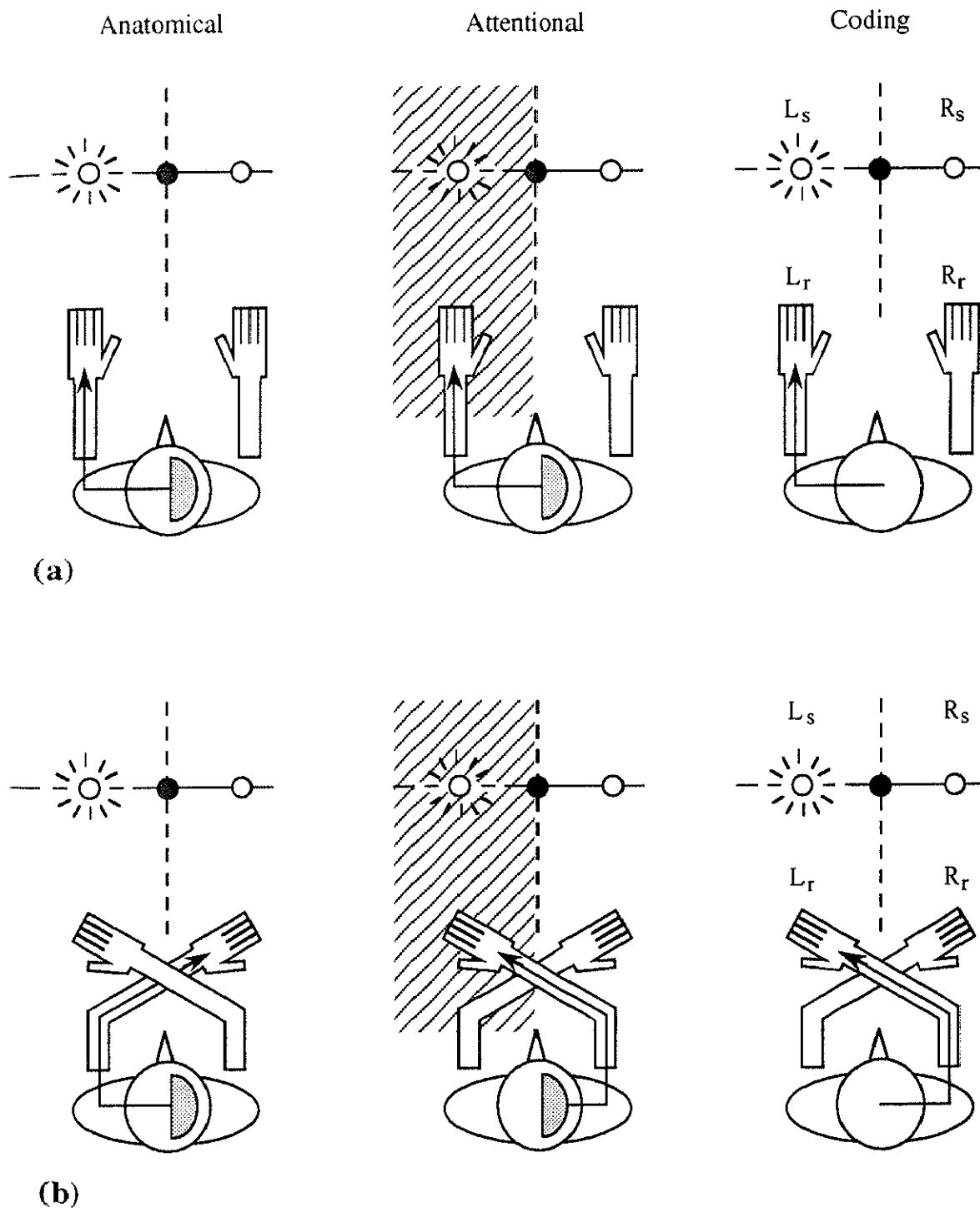
明らかにされた。単純反応課題において、手の置く位置をクロスしない、クロスするに関わらず、右視野での刺激に対する反応は、右手の方が左手よりも数ミリ秒速く、左視野の刺激に対してはその逆になることが報告された (Anzola et al., 1977; Berlucchi et al., 1977; Bradshaw & Umiltà, 1984)。つまり、半視野と反応効果器との解剖学的繋がりによって反応時間の遅速が決定されるということである。しかし、選択反応課題においては、これとは全く逆の状況が起きるのである。被験者が腕をクロスするとき、右視野での刺激に対する反応は、左手の方が右手よりも速く、左視野での刺激に対する反応は、右手の方が左手よりも速かった (Anzola et al., 1977; Brebner et al., 1972; Nicoletti, Umiltà, & Ladavas, 1984; Wallace, 1971, 1972; Bradshaw & Umiltà, 1984)。この知見は、解剖学的繋がりでは説明することができず、選択反応課題においては、刺激位置と反応効果器が反応を行う位置の空間的関係の重要性を示唆している。

#### 第5節 S-R 整合性の効果を説明するモデル

S-R 整合性の効果を説明している代表的な仮説は、注意モデル (attentional model) と符号化モデル (coding model) の2つである (図4)。

注意モデルは、人が先天的に「刺激の発生源に対して反応する性質」があるということを示唆した Simon たちのグループによって初めて提案された (Simon, 1968, 1969; Simon et al., 1971)。すなわち、刺激が提示されたとき、刺激の発生源に向けての反応は自動的に引き出されると言うものである。反応が自動的に引き出されるという傾向は、刺激位置と反応位置が一致するときに発生するため、反応時間は速くなる。逆に、刺激位置と反応位置が一致しないとき、刺激位置に対して逆での反応が、この反応傾向を抑制することになるため、反応時間は遅くなるというものである。

側方刺激によって、認知的注意機能の非対称が作り出されるという仮説は、Heilman たちのグループによって報告され (Heilman & Valenstein, 1979; Heilman et al., 1985)、大脳半球組織にある半側空間無視の理論から S-R 整合性の効果を説明している。この注意モデルによると、それぞれの脳半球は、対側の空間にある刺激の受容と肢の動きを制御するだけでなく、対側の半側空間における注意の制御に関して異なる側面を持つとしている。このモデルにおける注意は、入力刺激の選択と処理だけでなく、反応動作の選択と準備も含んでいる。図4で説明すると斜線で示した半側空間の注意処理は、右脳半球で制御されてい



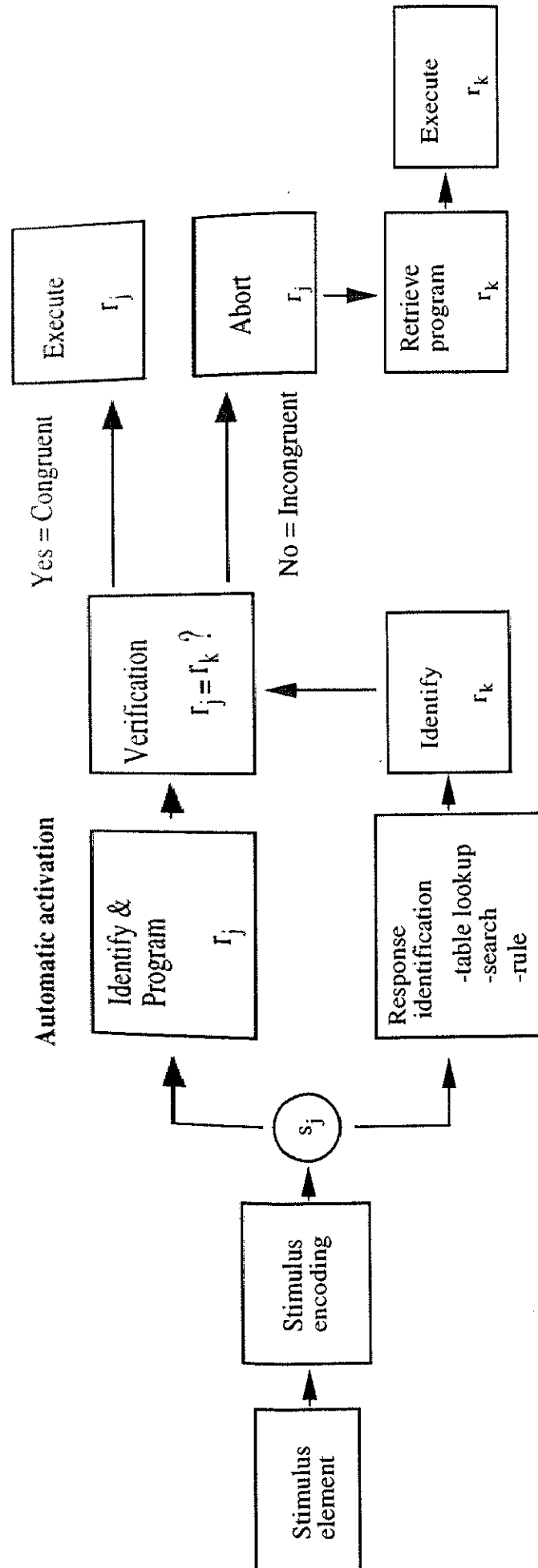
**Fig. 4** The explanation model for S-R compatibility effect with hand-uncrossed (a) and crossed (b) positions.  
 L<sub>s</sub>: left stimulus code, R<sub>s</sub>: right stimulus code, L<sub>r</sub>: left stimulus code, R<sub>r</sub>: right stimulus code.

るという仮説である。したがって、刺激の位置と反応準備している効果器が同じ半側空間内にあるとき、その情報処理が同じ脳半球で行われるので、反応は、それらが異なる脳半球で処理されるときよりも速くなるということを予測している（Bowers et al., 1981; Verfaellia et al., 1988）。

符号化モデルは、空間的表象モデルにおける情報処理過程の中でS-R整合性の効果を説明している。Wallace（1971, 1972）とBrebner et al.（1972）は、刺激に関する位置符号と効果器に関する位置符号が一致していることが、S-R整合性の効果を引き起こす原因であることを提案した。刺激が提示される時、刺激の位置が空間的座標系に基づいて符号化され、反応を行う位置は身体的座標系に基づいて符号化される。もし、刺激と反応が同じ空間的符号を共有しているのならば、異なる空間的座標で符号化されているS-R配列よりも反応時間は速くなる（図4）。

符号化モデルによる包括的な説明は、NicolettiとUmiltàのグループによって提案されている（Nicoletti et al., 1982; Umiltà & Nicoletti, 1985, 1990）。これらの研究において2つの刺激は、身体正中面を基準軸にして同じ側に呈示され、被験者は両方とも同じ空間に位置する2つの反応キーのうち、1つを押すことによって反応した。この実験条件は、注意モデルと符号化モデルを区別するために考案された。上述の条件において注意モデルでは、異なる半側空間の方向が取り除かれるため、S-R整合性の効果がないことを予測することになり、逆に符号化モデルでは、刺激と反応キーの相対的な空間位置が影響するのでS-R整合性の効果が起きることを予測することになる。結果は、符号化モデルを支持する有意なS-R整合性の効果が観察された。

その後、Kornblum et al.（1990）によると、S-R整合性の効果は、刺激の次元（dimension）が反応の次元に関連しているときに生じる自動的賦活処理によるものであると提案し、それは反応の次元に関連した刺激に対して興味がないときでも生起すると報告した。なぜなら、S-Rの配列が整合であるとき、刺激の次元が、反応の次元と重複（overlap）するため、刺激セットの要素にある個々の刺激符号が、関連する反応セットの反応符号の自動的賦活を引き起こすからであるとしている。この次元の重複モデルによれば、反応符号が関連する次元に基づいて割り当てられている刺激によって自動的に賦活されるならば、反応時間が速くなることを予測でき、刺激の次元によって自動的に賦活される反応符号が、要求される反応符号と異なるならば、反応時間が遅くなることを予測できる（図5）。しかし、次元の重複モデルを支持している一連の研究では（De Jong et al., 1994, Eimer et al., 1995;



**Fig. 5** Diagram of the major operations of the response production stages in stimulus-response compatibility task with dimensional overlap model. Cited from Kornblum et al. (1990).

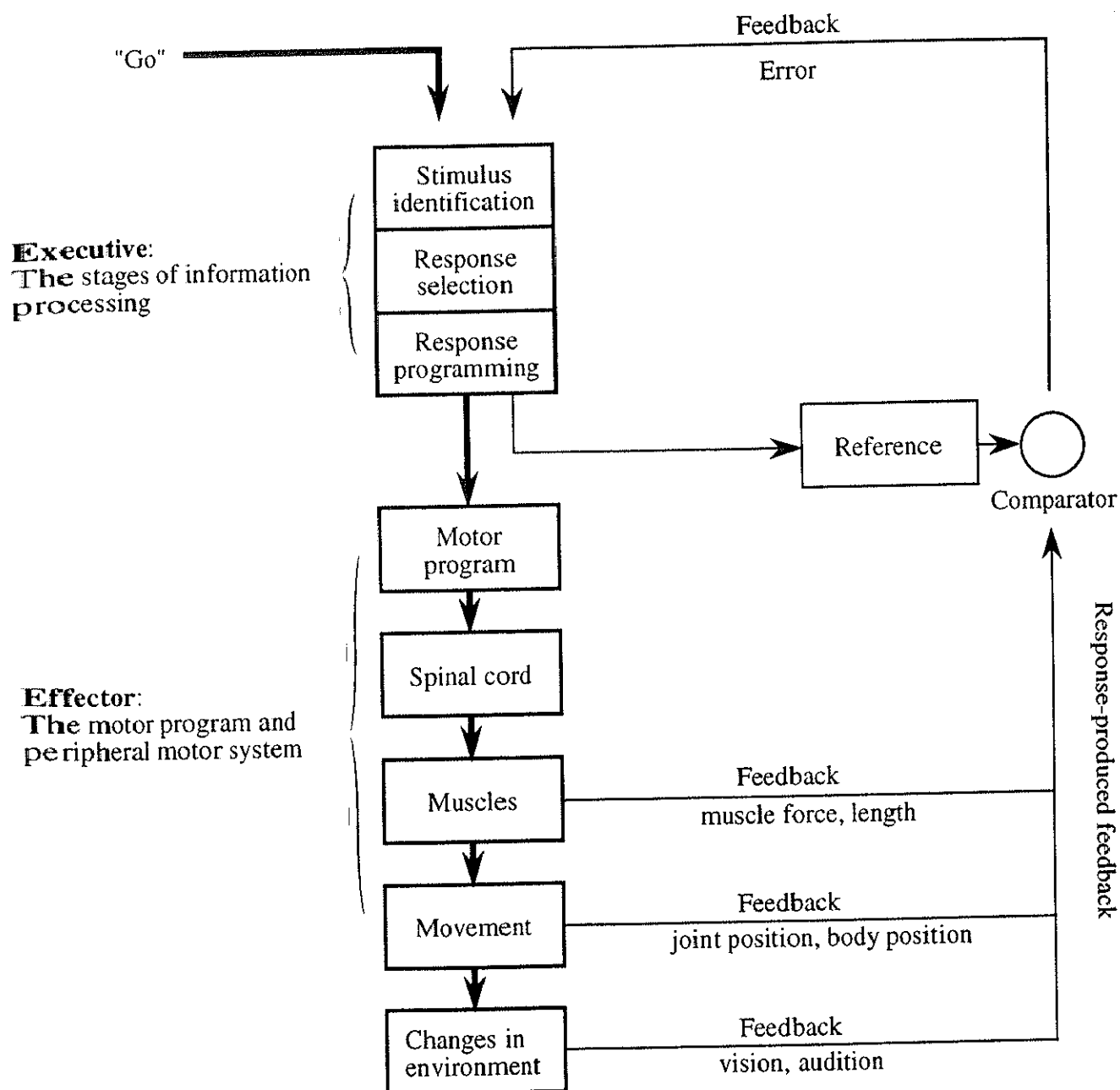


Kornblum, 1995) , 自動的賦活処理と反応プログラミング段階における反応符号の修正時間に焦点が当てられ、運動プログラムの構築に関しては議論されていない。

#### 第6節 随意運動制御に関する研究

随意運動をより正確に遂行するためには、目標に向かって動いている身体部位の感覚入力による連続的制御を受けたり、視覚入力によるフィードバック制御を受けるクローズドループ制御 (closed-loop control: Adams, 1971) と、運動があらかじめ決定されており、いったん運動が開始されたら終了するまで修正できないオープンループ制御 (open-loop control) がある。つまり、反応動作のようなバリスティック動作 (ballistic movement) は、その動作時間 (約 200 ms 以下) が非常に短いことから、オープンループ制御の運動プログラムによって遂行されると考えられている (工藤, 1989; Schmidt, 1988, 1991) 。この運動プログラムは、「動作の実施に先立って構成され、動作全体の遂行が末梢からのフィードバックに頼らず行うことを可能にするような筋に対する命令セット」であると考えられている (Keele, 1968) 。したがって、上位中枢の情報処理過程において反応動作がプログラミングされ、産出された運動プログラムは、下位中枢の脊髄に送られ、最終的に効果器での筋収縮を引き起こし、動作が行われることになる (図 6) 。

しかし、スポーツ活動のように、状況に応じて柔軟性に富んだ運動パターンが数多く存在すること (貯蔵の問題) , 学習したことのない運動ができるということ (新奇性の問題) を説明するには、運動プログラム理論では限界がある。そこで「運動プログラムは一般化できる」という一般化運動プログラム (generalized motor program) が提案された (Schmidt, 1988) 。この枠組みの中で、熟練した動作は、不変的特徴とパラメーター (parameter) の2つで構成されていると考えられている。不変的特徴とは、運動距離や速度などが変化したとしても、ある運動のパターンが一定の時間的構造・リズムを持つという相対的タイミングのことである (Gentner, 1987) 。パラメーターとは、運動のスピード、方向、大きさ、使われる四肢を変数として持っている。したがって、反応選択段階で一般化運動プログラムが選ばれ、それが反応プログラミング段階で長期記憶の貯蔵の中から検出され、運動開始の準備をする。そして、どの四肢を使って、どれだけの速さで、どれだけの強さで運動するのかというパラメーターが運動プログラムを特殊化し、効果器に実行指令が送られることになる (Schmidt, 1988, 1991) 。



**Fig. 6** An expanded conceptual model of human performance. Diagram showing both the open-loop (bold line) and the closed-loop control system. Cited from Schmidt (1988, 1991).