

## 博士学位論文審査報告書

大学名 早稲田大学  
研究科名 スポーツ科学研究科  
申請者氏名 シュ リュ  
学位の種類 博士（スポーツ科学）  
論文題目 Structure of Motor Programming: Inference from Event-related Potentials  
運動プログラミングの構造－事象関連電位による検討－

論文審査員 主査 早稲田大学教授 正木 宏明 博士（人間科学）（早稲田大学）  
副査 早稲田大学教授 彼末 一之 工学博士（大阪大学）  
医学博士（大阪大学）  
副査 早稲田大学教授 内田 直 博士（医学）（東京医科歯科大学）

本博士学位論文は、従来明確にされていなかった運動プログラミング過程について、反応時間と精神生理学的手法の適用によって実験的に検証したものである。本博士学位論文は5章から構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、運動プログラミングに関する従来の知見を概観し、有効な研究アプローチ法を検討した。特に、2変数を直交操作し、反応時間における交互作用の検出によって処理段階を同定する要因加算法(additive factor method: AFM)の有効性と限界について論じた。反応時間の振る舞いに基づくその他の関連モデルとして、Hierarchical Editor (HED) Model、Cascade Model等についても概観した。さらに、スポーツ心理学領域で重要視されてきた汎化運動プログラム(generalized motor program: GMP)についても、その基本概念と研究方法について外観した。一方、精神生理学的手法として、脳波の事象関連電位(event-related potential: ERP)に注目し、ERPのなかでも偏側性準備電位(lateralized readiness potential: LRP)と随伴陰性変動(contingent negative variation: CNV)が運動プログラミング研究に有効なツールとなることを強調した。従来の知見の概観によって、運動プログラミングを検討するには、(1)要因加算法の適用と、(2)GMPへの動作パラメータ修正操作が有効であると結論づけ、LRPとCNVを指標とした実験を計画した。

第2章では、運動プログラミング段階に強く影響を及ぼす最適な変数を同定するため、要因加算法を適用した反応時間計測実験を実施した。実験1では、動作持続時間と反応肢交差（クロスハンド）の2変数を直交操作した。実験2では、動作持続時間と反応複雑性（特定シーケンスでのボタン押し）の2変数を直交操作した。実験3では、動作持続時間と反応複雑性（実験2とは異なるボタン押しシーケンス）の2変数を直交操作した。実験課題は一貫して、画面上に提示される文字刺激（左/右）に対する左右のボタン押し反応であり、速くかつ正確な反応様式が求められた。

いずれの実験でも、運動プログラミング段階に影響を与える変数を直交操作したが、交互作用は一貫して観察されず、各変数の主効果のみが得られた。要因加算法の原理に基づくと、

本結果は、操作した運動関連変数が、運動プログラミング段階で独立して処理されたことを示唆するものであった。

第3章では、実験4として、反応肢交差と反応複雑性を直交操作した手続きで、脳内情報処理過程を捉えるためのERP測定を行った。実験5でも同様に、動作持続時間と反応複雑性を直交操作し、ERP測定を行った。両実験とも第2章の結果を支持し、反応時間には操作した2変数の主効果のみが認められ、交互作用は観察されなかった。一方LRPについては、刺激提示時点で算出した刺激同期LRP (stimulus-locked LRP)の潜時(刺激—LRP間隔)に条件差はなかったものの、反応時点で算出した反応同期LRP (response-locked LRP)の持続時間(LRP—反応間隔)には2変数の主効果が認められた。LRP—反応間隔に交互作用が認められなかったことから、本章で操作した反応肢交差、反応複雑性、動作持続時間はいずれも反応関連段階に関連しているものの、互いに独立した様式で処理されていることが示された。要因加算法を適用したこれらの実験では、運動プログラミング処理が複数行われる際、共通する処理段階で行われるのではなく、互いに独立した処理段階で行われることが、反応時間の結果からもLRPの振舞いからも矛盾なく示された。

第4章では力量発揮課題を用い、GMPに関連した運動プログラミング過程を検討した。構築されたGMPを駆動するには、適切な動作パラメータをGMPに適用しなければならない。実験6では、左右第2指でフォースキーをバリストックに押し、標的強度値を出力する課題を用い、第2指屈曲運動のGMPに適用する力量パラメータの修正過程を検討した。ここでは標的数の異なる2条件を設定した。単一標的課題では、10 Nの標的強度値を反復出力した。同一の標的強度値を反復出力するため、GMP構築後は同様の力量パラメータを適用し続ければよかった。一方、複数標的条件では、試行毎に異なる標的強度値(4 N、10 N、16 N)を出力するため、GMPは不変でも標的強度値の変更に伴って力量パラメータを修正しなければならなかった。したがって、条件間で脳内情報処理の差異を調べれば、運動プログラミングに参与するパラメータ修正過程を捉えることができる。各条件は6ブロック(63試行/ブロック)から構成され、1ブロック終了毎に条件を変えた。実験参加者には試行毎に遂行結果をバーグラフ表示でフィードバックした。10 N標的試行を対象に、行動指標およびCNV、LRPについて条件間で比較した。

その結果、発揮力量に条件差はなかった。反応時間は、複数標的条件の方が単一標的条件よりも長かった。CNVは両条件ともに、反応肢を指示するプレキュー提示から、命令刺激提示までの2秒間で観察された。力量パラメータの修正過程を反映し、複数標的条件のほうが単一標的条件よりもCNV振幅は大きかった。条件間で求めた差波形の頭皮上分布は左前頭部優勢であった。LRPについては条件間で差はなかった。LRPは一次運動野の活動を主に反映することから、実験6の結果は、運動プログラミング過程で行われる力量パラメータ修正が前頭部で行われていたことを示唆している。

第5章では一連の実験から得られた知見について総合的に論議した。要因加算法を適用したアプローチでは、LRPの測定によって、複数の運動プログラミングは互いに干渉し合うことなく、従来考えられてきた以上に独立した処理様式を有することが示された。GMPに着目したアプローチでは、標的強度値を狙った力量発揮課題を工夫し、GMPに対するパラメータ修正過程をCNVとLRPで検討した。その結果、力量パラメータ修正は、一次運動野ではなく前頭部で主に行われていることを見出した。本研究での一連の実験結果は、運動プログラミングに関する新たなエビデンスを与えるものであり、動作発現に重要な運動プログラミングの研究を進展させるものである。また、行動指標だけでなくLRPとCNVを適用した点でも、

本研究はオリジナルティの高いものであると結論づけられる。これらの評価から、本博士学位論文は、博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以上の知見の一部は、以下の学術誌に掲載された。

Xu, L., Sommer, W., & Masaki, H. (2015). The structure of motor programming: Evidence from reaction times and lateralized readiness potentials. *Psychophysiology*, 52, 149–155.

doi:10.1111/psyp.12296（査読有り）

Xu, L., Sommer, W., & Masaki, H. (2014). On the structure of motor programming: an additive factors approach. *スポーツ科学研究*, 11, 250-264.（査読有り）

以 上