



TITLE:

Application of Biological Control Principle in
Understanding of Human Behavior
Modulations(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Matti, Sakari Itkonen

CITATION:

Matti, Sakari Itkonen. Application of Biological Control Principle in Understanding of Human Behavior Modulations. 京都大学, 2020, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2020-09-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22801>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-10-01に公開

様式VI

博士学位論文調査報告書

論文題目

Application of Biological Control Principle in Understanding of Human Behavior
Modulations

(生物制御原理に基づくヒトの行動調整メカニズムの理解に関する研究)

申請者氏名

Matti Sakari Itkonen

最終学歴

平成9年5月

University of Kuopio, Computer Science,
Master of Philosophy program 修了

平成30年3月

京都大学大学院情報学研究科 知能情報学専攻博士後期課程
研究指導認定退学

学識確認

令和 年 月 日 (論文博士のみ)

論文調査委員 京都大学大学院 情報学研究科
(調査委員長) 教授 熊田 孝恒

論文調査委員 京都大学大学院 情報学研究科
教授 西田 眞也

論文調査委員 京都大学 学術情報メディアセンター
教授 中村 裕一

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	Matti Sakari Itkonen
論文題目	Application of Biological Control Principle in Understanding of Human Behavior Modulations (生物制御原理に基づくヒトの行動調整メカニズムの理解に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>人間の行動を一般的な原理から理解しようという試みは、哲学の問題から発し、心理学、脳科学、工学、情報学などの様々な学問分野へと展開してきた。この論文では、単純なコントロールの階層性に基づき、人間が環境と相互作用することを可能とする人間の行動の原理の理解を目的とした。全体は7章から構成されている。</p> <p>第1章および第2章では、本研究の概要と背景がまとめられている。人間やロボットのような知的な振る舞いをするエージェントのコントロールメカニズムとして、環境の状態を感知し、その情報を処理し、環境に働きかけるといった基本的な枠組みが過去の研究に基づいて議論されている。ついで、このような枠組みの妥当性が、感覚系、運動系、中枢神経系に関する生物学や神経科学の知見から議論されている。そして、これらの議論に基づき、本研究の基礎となる神経シナジーシステムの枠組みが提案されている。ここでは、生体において、いかにして膨大な環境中の情報が処理可能なのか、また、意図から複雑な筋骨格系の運動信号がいかにして生成可能なのかを理解するために、感覚情報の処理から意図生成へのコントロールの階層性および意図生成から運動生成へのコントロールの階層性の枠組みが提案されている。</p> <p>第3章では、運転行動を取り上げ、意図が運転行動として生成される過程を、前章で提案したコントロールの階層性の枠組みで理解可能であるかが検証された。特に、ここでは上位の階層からの意図の行動への予測的なトップダウンの過程として proactiveなコントロールを、また、実際の環境の変化に応じて反射的に行動を制御するボトムアップの過程として、reactiveなコントロールを仮定した。実車を用いた実験では30名の運転者が、路上に設置されたパイロンの間を右旋回、左旋回を繰り返しながらできるだけ高速で自動車を操作するパイロンスラローム課題を行い、その際の運転者の視線方向、顔の方向を計測するとともに、ステアリング操作とペダル操作のデータを記録した。パイロン位置に対するペダル操作のタイミングやステアリング操作のタイミング、修正操舵の程度を reactivity index (RI) として指標化した。RI は、運転者の運転スキルと高い負の相関を示したことから、運転スキルが高い運転者ほど予測的なトップダウンの制御を行っている可能性が示された。この結果は、運転操作におけるコントロールの階層性を支持するものとして解釈された。</p> <p>第4章では、脳梗塞などの後遺症として上肢の麻痺を呈した患者が、リハビリテーションによって麻痺を回復する過程を、前述のコントロールの階層性により理解できることを示した。まず、左右の手で1つずつのステアリングを操作する Dual-steering rehabilitation system (DSRS) を構築した。11名の半身麻痺患者の左右の上腕を中心とした9箇所電極を装着し、DSRS操作時の表面筋電位を計測した。左右の動作の方向や左右のステアリングが連結しているか否かの4種類の異なるDSRS操作を行い、その間の筋電位の類似性を指標として定義し、算出した。さらに、同一のDSRS操作をしているときの麻痺側と非麻痺側の筋電位の類似度と、異なるDSRS操作をしているときの同一電極の筋電位の類似度を分析した。まず、4つのDSRS操作も、左右の上腕の動きは全く同じであるにも関わらず、操作の種類によって異なる筋電位のパターンを示した。このことは、これらの患者においては、左右の上腕の制御が完全には独立ではないことを示唆する。この結果は、意図を麻痺側の上腕に直接的に伝達する神経系の指令が脳梗塞によって阻害されたものの、非麻痺側への指令が中間層の階層を介して麻痺側に伝達されている可能性を示すものである。このような現象の理解に</p>			

においても、コントロールの階層性の枠組みが有効であることが明らかとなった。

第5章では、第4章で行った計測のシステムの構築に関する詳細が記述されている。DSRSからの操作に関するデータ、多チャンネルの筋電位のデータなどの多変量の時系列データをワイヤレス通信を通して、時間精度を保証しながら記録するためのソフトウェアプラットフォームの構築とその精度の実験結果が記載され、本研究で用いられた計測システムの信頼性に関して議論がなされている。

第6章および第7章では、本研究で提案したコントロールの階層性の枠組みが有効であることが、第3章および第4章の結果に基づいて議論がなされている。さらには、運転行動とリハビリテーションに関する今後の研究の可能性についても論じられている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

人間が環境に対して適応的な行動をいかに生成しているかは、古くからの哲学、心理学、脳科学、工学、情報学などの人間を扱う学術分野に共通のテーマである。本研究では、この問題について、自動車の運転操作に関わる行動実験の結果と上肢の麻痺患者のリハビリテーションに関する実験結果からアプローチしたものである。得られた成果は以下の通りである。

(1) 運転行動をトップダウンとボトムアップの制御過程により理解できることを示した。人間の行動が、これらの2つの制御過程からなっていることは多くの基礎研究によって示されてきたが、運転行動で検証した研究は存在しなかった。本研究では、新たなデータ解析方法を提案し、その検証を行った。また、運転の熟練度と2つの制御過程の関係を明らかにした。これら研究は、運転行動の新しい理解につながるものと言える。また、運転者の熟練度に合わせた運転支援システムの開発にも資する研究として評価できる。

(2) 新しいリハビリテーションの評価方法の提案を行った。ステアリングを用いた新しい上肢の麻痺のリハビリテーション装置を用い、さらには筋電位を用いて、リハビリテーションの効果の検証を行った。訓練課題間での麻痺側内の上肢の筋電位の類似性や麻痺側と非麻痺側の相同部位の筋電位の類似性を評価することで、機能回復の原理の理解やリハビリテーションの効果の評価ができることを示した。本手法は、筋電位を用いた片麻痺患者のリハビリテーション効果の評価手法としての展開も期待できる。

(3) 上述の2つの結果が、比較的単純なコントローラの階層性で統一的に理解できることを示した。特に、運転行動実験においては、予測に基づくトップダウンの行動と環境に応じたボトムアップの行動が、コントローラの階層性枠組みで解釈可能であることを議論した。また、リハビリテーションの実験では、非麻痺側への運動指令が麻痺側にも影響する過程が、中間の階層での情報の伝播を仮定することで解釈可能であることを示した。なお、この枠組みに基づく説明の妥当性に関しては十分に評価できるものの、一方で、予測的モデルとしての有効性に関しては、本論文の範囲を超えた将来的なテーマと言える。

以上、本論文では、運転行動とリハビリテーションという異なる行動場面を対象とし、それらを統一的な枠組みで理解するという独創的な試みがなされた。それぞれの行動に関しては、工夫された信頼性の高い実験設定のもとで計測されたデータに対し、オリジナルのデータ解析を行ったもので、結果も新規で重要なものとして評価でき、個々の分野での研究の発展に多大な貢献することは想像に難くない。また、本研究の成果は、その専門領域のみならず、情報学を含む広い分野の研究に対する波及効果という意味でも学術上、寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、令和2年8月26日、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降