

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 8 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25560302

研究課題名(和文)「フォーム(型)を知る、学ぶ、伝える」を促進するシステムの構築

研究課題名(英文) Development of a system to promote understanding, learning, and transmission of kinematic and kinetic features of physical movement in sports

研究代表者

七五三木 聡 (SHIMEGI, SATOSHI)

大阪大学・医学系研究科・准教授

研究者番号：20271033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、身体動作遂行中に、フォームや筋発揮に関する情報を音声化してリアルタイムフィードバックし、身体感覚・筋出力感覚を聴覚情報によってサポートすることで、効果的かつ効率的にスキル学習を促進させるシステムおよびプロトコルを開発することであった。新規のスキルとして、被験者は把持力や腕関節角度を調節することでディスプレイ上のカーソルを上下させ、高速で移動するターゲットをキャッチする視覚性高速連続運動課題を確立した。課題に対する音フィードバックの効果を検討したところ、音フィードバックは新規スキル学習を促進させる働きがあること、また、困難度が高いほど効果が大きく有効な手段になることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to develop a system with specific protocol which promotes skill learning effectively and efficiently by providing real-time auditory feedback concerning information about kinematic and kinetic output during physical movement. I established a fast and consecutive visuomotor task as a novel skill to be learned, in which the subject was required to catch the target moving on high-speed horizontally from the extreme right of the display to extreme left at various heights by regulating grip force or an arm joint angle linking directly to upward and downward movement of a leftmost cursor. The task was performed with or without auditory feedback, finding that the auditory feedback promoted the novel skill learning and the efficacy was higher in difficult task condition than easy one.

研究分野：スポーツ神経科学

キーワード：フィードバック 運動学習

## 1. 研究開始当初の背景

アスリートがスキル向上を目的として、自身の身体動作や力発揮様式を改善・修正するためには、正確な現状把握が必要不可欠である。現状がわからなければ、修正の成否とその効果を明らかにできないからである。現状把握の正確性を担保するためには、実測により得られる客観的データの取得が必要であり、身体運動の時空間的特性に関するこれまでの科学的分析は、主にバイオメカニクスの計測手法が使われてきた。高速度ビデオ撮影した動きの映像から変位、速度、加速度、力などの時間経過を定量化することで、高精度な数値データが得られ、様々な観点からの専門的なデータ解析が可能となるとともに、それを基に再現された骨格モデルの動きをアニメーションとして運動者および指導者に提供できる利点がある (Knudson and Morrison 1997)。

一方、主観的な現状把握法ではあるが、民生用のビデオカメラ(サンプリング周波数 30 ~ 60Hz)で撮影されたビデオ映像そのものを運動者へ呈示するフィードバック方法もスポーツ現場では有益であり、自身の動きを第三者的に外観することで、主観だけでは気付かなかったクセなどを発見するのに役立ってきた。

しかし、上記の方法論はいずれも共通する問題点がある。それは、動作遂行と動作観察の間に時間的ギャップが存在すること、動作遂行時には決して見る事ができない自身の動き映像(視覚情報)が動作修正に使われること、である。アニメーションやビデオ映像から視覚的に得られる自身の動きは、それを実際に遂行する際に発生する身体感覚・筋出力感覚を伴っていないため、映像観察時と運動実行時の感覚的な対応を取る事が著しく困難である。映像を見てから実際の動作をする時にはその動きを直接見る事ができないため、頭の中での理想とする型やフ

ォームを想起し、実際に行っているものを想像しながら、それらを比較・修正することになる。これら全てのプロセスが主観で行われるため、修正の成否や程度もあいまいであり、また、元々できていて修正すべきでないところも変更されてしまうなど、スキル向上という観点からはマイナスの要因となる可能性が残されている。そのため、型やフォーム、力発揮様式を効果的かつ効率的に修正するためには、非視覚性の手掛かりをリアルタイムで呈示することが重要である。

## 2. 研究の目的

上記の問題を踏まえ、身体動作遂行中に、身体動作や筋発揮に関する情報を音声化してリアルタイムフィードバックし、筋出力感覚を聴覚情報によってサポートすることで、効果的かつ効率的に新たなスキルの学習を実現するためのシステムおよびプロトコルを開発することが本研究の目的とした。

## 3. 研究の方法

音フィードバックによる運動学習促進効果の有無を効率的かつ厳密に調べるためには、学習させる運動自体に工夫を凝らす必要がある。なぜなら、実際のスポーツ動作では、これまでの経験値が個人によって異なるため、課題の初期成績とその後の学習曲線は影響を受けてしまうからである。そのため、全ての被験者がこれまで経験した事の無い課題が望ましい。

また、実際のスポーツ場面では、“自分の身体動作は直接見えないが、その出力結果は視覚的に確認できる”ことが多い。野球におけるピッチングやバッティングなど球技種目はいずれもその好例であり、出力結果としてのボールの動きが視覚情報としてフィードバックされることになる。そのため、同様な状況設定での課題が望ましい。

さらに、運動学習の効果、すなわちパフォ

パフォーマンスの向上とそのメカニズムを明らかにするためには、運動自体を単純化する必要がある。自由度の高い多関節のダイナミックな運動では、学習過程でたどる変化に個人差が起こりやすく、パフォーマンス向上のメカニズムが異なる可能性があるからである。

そこで、上記の条件を満たすヒトの視覚運動制御能を計測・解析するシステムとしての視覚性高速連続運動課題を確立し、それに対する音フィードバックの効果を検討した。

#### 4. 研究成果

##### 1) 視覚性高速連続運動課題の確立

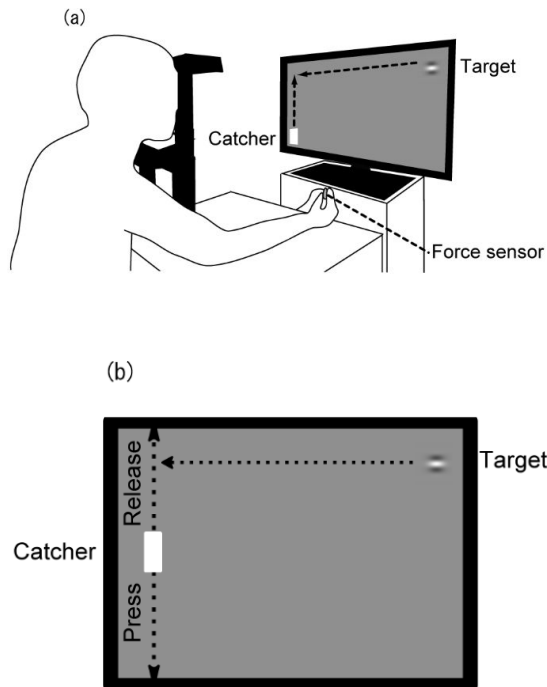


図 1. 視覚性高速連続運動課題の概要

視覚性高速連続運動課題は、ヒトの視覚に基づく運動制御能を計測・解析するための課題であり、被験者は把持力や腕関節角度を調節することでコンピュータディスプレイ上のカーソルを上下させ、高速で移動するターゲットをキャッチする課題である(図 1a)。

被験者の眼前に設置した液晶ディスプレイ右端からターゲット刺激が出現し、左端へと高速移動する(図 1b)。被験者はディスプレイ左端に表示されているカーソルを素早

く上下に動かし(瞬発性)、移動してくるターゲットにヒットさせるタイミング予測を伴う視覚性高速連続運動を行う。指で摘んだフォースセンサーに加える力の大きさに依存してカーソルの位置が上下に変化し(運動出力の切り替え)、ターゲットがカーソルにヒットまたは、ディスプレイ左端に到達すると、次のターゲットが画面右端に出現するため、常にターゲットをヒットさせるための運動制御を必要とする(連続性)。運動発現における瞬発性・運動出力の切り替え、連続性は、卓球の試合場面でアスリートがボールに対して発現する身体運動応答の特性そのものである。このように、本課題は卓球のゲームを模倣し、卓球のような視覚依存性が高く、高速かつ連続的な運動時の身体運動制御機構を調べるための課題となっている。

ターゲットの出現する高さはランダムであり、ターゲットが出現してからヒットあるいはミスするまでのカーソルの軌跡(ディスプレイの Y 軸方向のカーソルの動き)から、視覚情報処理および運動情報処理の特性を解析した。また、ターゲットの移動速度を変化させ、課題の難易度を変えた時の身体反応特性の変化を調べることで、視覚性連続運動に関わる視覚情報処理の時間特性およびその役割を検討した。ターゲット出現後からカーソルがターゲット方向に動きだすまでの反応時間を視覚情報処理の速さの指標として、また、カーソルをターゲットに寄せる動きの速度を運動情報処理の指標として解析した。

##### 2) 視覚性高速連続運動の時空間特性と成績

20 名の被験者の基礎的データを取得した。7 種類の視標速度(1000、2000、3000、4000、5000、6000、7000 ピクセル/秒)を設けて、運動する視標に応じた把持力制御機構の特性を検討した。その結果、ターゲットの出現から数十ミリ秒から数百ミリ秒の潜時の後

に、一定速度でバリスティックにターゲット位置に向かうカーソルのアプローチ運動が起こることがわかった。

ターゲットが低速から高速になるにつれヒット率の低下（ミス率の増加）が起こり、高速時では、カーソルが動き出すまでの潜時の長短、すなわち、運動発現前の視覚情報処理の時間の長短がヒット（ミス）の発生率に強く関与している事が明らかになった。また、高速になるほどアプローチ運動の速度を大きくして対応する傾向があり、ヒットの場合は速度を大きく出来たケースが多く、ミスの場合では逆に速度が小さく、そもそもアプローチ運動を行えていないケースが多いことが明らかになった。これらはいずれも視覚による情報処理の速度や精度が本課題の視覚-運動制御のパフォーマンスを大きく左右することを示唆する。

### 3) 音フィードバックの効果の検証

そこで、上記実験システムを用い、視覚性高速連続運動課題のパフォーマンスに対する音フィードバックの効果を検証した。カーソルのコントロールとして、肘関節に装着したゴニオメーターで計測される関節角度によって（関節角度調節条件）、親指と人差し指で摘まむフォースセンサーに加わる力に応じて（把持力調節条件）カーソルが上下に移動した。音フィードバックとして、カーソルがターゲットにヒット出来る高さに入る瞬間に音を発生させた。ターゲット速度は、1000~7000ピクセル/秒までの7条件を設けた。ターゲット速度を増加させると両調節条件ともヒット率は低下したが、把持力調節条件に比べて関節角度調節条件の方がヒット率は低かった。音フィードバックを与えると両調節条件ともヒット率は上昇したが、特に関節角度調節条件の方でその効果は大きかった。

このように、音フィードバックは運動学習

を促進させる働きがあること、また、その効果は、困難度が高い課題ほど有効な手段になることがわかった。

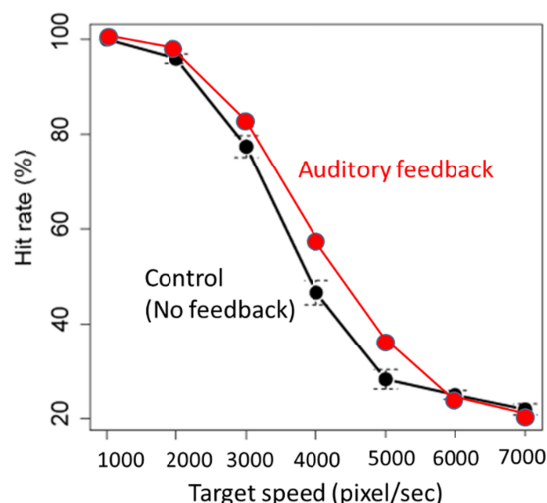


図2. 関節角度調節条件におけるターゲットスピードとヒット率の関係

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計13件)

七五三木聡 (2014) 視覚情報の統合機序およびその機能的役割. 大阪大学蛋白研セミナー「情報統合による意志決定の神経基盤-神経回路機構とその形成発達-」.大阪府吹田市

七五三木聡 (2015) 一次視覚野ニューロンの受容野周囲抑制現象から考える視知覚形成の神経機構. 生理学研究所研究会「視知覚の現象・機能・メカニズム-生理学的、心理物理学的、計算論的アプローチ」.岡崎コンファレンスセンター

七五三木聡、青山千紗 (2015) 視覚性連続運動の制御特性と学習機構. 第70回日本体力医学会大会シンポジウム「優れたスポーツパフォーマンスに潜む感覚運動情報処理の秘密:スポーツにおける視覚・体性感覚の役割」.和歌山県民文化会館・ホテルアバローム紀の国

青山千紗、小笠原一生、七五三木聡 (2015) 視覚刺激と連合した力覚刺激に抗する力発揮制御の学習機構. 第70回日本体力医学会大会.和歌山県民文化会館・ホテルアバローム紀の国

青山千紗、小笠原一生、七五三木聡 (2015) 視覚刺激と連合した力覚刺激に抗する力発揮制御の特性と学習機構. 第108回近畿生理

学談話会. 近畿大学 東大阪キャンパス  
七五三木聡 (2015) 見て判断するための視  
覚イメージを形成する脳内神経機構. シンポ  
ジウム「視覚の信号処理からの運動の認知へ  
至るメカニズム」. 日本スポーツ心理学会 第  
42 回大会. 九州共立大学

七五三木聡 (2015) 広域視野情報の統合過  
程から考える視知覚の形成機構. 第 37 回近  
畿眼科先進医療研究会. 近畿大学医学部

青山千紗、七五三木聡 (2016) 連続的な視  
覚運動変換課題のパフォーマンスに影響す  
る重要因子. 第 93 回日本生理学会大会. 札  
幌コンベンションセンター

七五三木聡 (2016)  
特別講演「一次視覚野ニューロンの神経活動  
から考える視覚意識の作り方」. レイン・コ  
ンピューティング研究講演会. グリーンホテル  
三ヶ根. 愛知県西尾市

青山千紗、七五三木聡 (2016) 連続的な視  
覚運動変換課題のパフォーマンスを決定づ  
ける重要因子. 第 39 回日本神経科学大会.  
パシフィコ横浜

七五三木聡 (2016) 視覚性高速連続運動の  
パフォーマンスを決定する要因. 第 71 回日  
本体力医学会大会シンポジウム「優れたスポ  
ーツパフォーマンスに潜む感覚運動情報処  
理の秘密 その 2 - 卓球スキルに潜む視覚  
性高速連続運動の時空間特性とその制御機  
構 - 」. いわて県民情報交流センター

青山 千紗、呉屋 良真、武富 大剛、末松 尚  
史、七五三木聡 (2016) 視覚性高速連続運動  
のパフォーマンスを決定する視覚的要因.  
第 71 回日本体力医学会大会. いわて県民情  
報交流センター

呉屋良真、青山千紗、武富大剛、檜垣靖樹、  
七五三木聡 (2016) アスリートの意識状態定  
量評価法の確立と視覚性高速連続運動課題  
を用いた妥当性の検証. 第 71 回日本体力医  
学会大会. いわて県民情報交流センター

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：

権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

七五三木 聡 (SHIMEGI SATOSHI)  
大阪大学・大学院医学系研究科・准教授  
研究者番号：20271033

(2) 研究分担者

山際 伸一 (YAMAGIWA SHINICHI)  
筑波大学・システム情報工学研究科・准教  
授  
研究者番号：10574725

黒須 雅弘 (KUROSU MASAHIRO)  
東海学園大学・スポーツ健康科学部・講師  
研究者番号：60469054

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )