OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	The functional role of visual factors in a successive visuomotor response under temporal constraints
Author(s)	青山, 千紗
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/69667
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名	（　青山千紗　）
論文題名	The functional role of visual factors in a successive visuomotor response under temporal constraints （連続視覚運動に果たす視覚的要因の役割と時間的制約の影響）

論文内容の要旨

高速のボールを打ち合う卓球のような視覚依存性の高いスポーツでは、限られた時間内で素早くかつ正確に“視覚情報の取得と脳情報処理”を行い、運動指令を生成・発令して身体運動に反映させる必要がある。このような視覚情報に基づく運動は視覚運動と呼ばれ、視覚情報の取得過程から運動出力の発揮までの全てのプロセスがパフォーマンスを左右する要因となる。特に、視線の向け方（視線行動）は、収集する視覚情報の選別に寄与し、処理する内容そのものを決定する重要なステップであるが、実際のスポーツ場面における視線行動の特性やその機能的意義はよく分かっていない。特に、互いにボールを打ち合うラリーのような連続視覚運動については、身体運動そのものの複雑さのために、運動の成立機序そのものの理解が進んでいないため、視線行動の特徴や役割、運動指令の生成・発令および発令後の運動調節にどのように寄与するのか、などの重要な問題が解決されていない。

そこで本研究では、卓球のラリーを特徴づける要素を組み込みながらも身体運動と視線行動の詳細かつ正確な定量解析を可能にする心理物理実験モデルを構築し、1）時間的制約下で為される運動のキネマティクス特性から、連続視覚運動時の運動成立過程や運動制御特性を明らかにし、2）それに関わる視線行動の特性と役割を検討することを目的とした。

しかし、連続運動をモデルとした実験系の構築には解決しなければならない問題があった。効果器としての四肢の動きが複雑になるだけでなく、自由度の高い眼球や頭部はさらに複雑な動きを呈し、身体運動と視線行動における関係性の複雑さはその掛け算になる。そのため、解析対象となる身体運動の単純化と頭部運動の制限により複雑性の組み合わせ爆発の解消を図った。また、連続動作が高速になるほど、質量のある四肢を急加速・急減速させることになり、それに伴い発生する慣性力に抗うための力発揮と複雑な運動制御の必要性が増すことになる。このような運動速度に依存して増加する筋性要因（筋力・筋疲労）の影響を最小化しない限り、異なる運動速度で為される連続視覚運動の出力結果とその規定要因を同一の枠組みの中で評価する事ができない。そこで、身体動作は空間的な動きを伴わない指の把持力調節（グレーディング）とし、これに連動して2次元の仮想空間（PCディスプレイ）内を移動するカーソルを効果器としてターゲットに到達させる視覚誘導性到達運動を考案した。課題としては、次から次へと出現して等速直線運動するターゲットにカーソルを到達させる連続視覚運動課題を確立し、課題遂行時の視線計測を実施することで、カーソル運動の成否やキネマティクス特性とこれに寄与する視線行動および視覚情報処理の役割を検討した。

【方法】実験参加者の眼前に設置したPCディスプレイの画面右端の様々な高さ（垂直位置）からガボールパッチ（ターゲット）が連続的に出現し、ディスプレイ左方向へ高速移動した。実験参加者は、画面左端に表示されるカーソルを上下に動かすことでターゲットにヒットさせる連続視覚運動課題を行った。ターゲットが通過する領域（垂直位置）をヒットゾーンと呼んだ。実験参加者の右手の母指と示指で摘まれた力センサ（ロードセル）への力に比例してカーソルの垂直位置が決まるようになっており、力を入れなければ最上位、最大把持力の30％でディスプレイ最下位に到達するよう設定した。ターゲット速度は低速から高速までの7条件とし、各条件での課題を30秒間実施した。また、眼球運動を同時計測することで、連続視覚運動における視線行動の役割を検討した。

【結果と考察】課題遂行中の実験参加者の視線及びカーソルには、ターゲット出現からある潜時の後にヒットゾーンへ急速に向かう特徴的な動きが観察され、それぞれのアプローチ運動をsaccadic eye approach (SEA)、rapid cursor approach (RCA)と呼んだ。RCAはターゲットをヒットするための基本的な動きであり、その移動速度の時間変化（速度波形曲線）は、指などを目標物に向かわせる腕到達運動と同様のベル型を示し、実空間での到達運動と同様に、ある最適化規範に基づいて生成された運動出力であることが示唆された。

ターゲット速度が増加するほどヒット率はシグモイド関数様に低下し、中速域ではRCAの発現を伴うミスの発生・増加が起こり、高速域ではRCAの発現を伴わない運動指令未発令のミスが増加した。そこで、中速域のRCA発現時の課題の成否を分かつ要因として視線行動がどのように関与するのかを検討した。RCA終了時点でのヒットゾーンから

の誤差（RCA終点誤差）は、ヒット試行で小さく、ミス試行ではターゲット速度とともに増加し、課題の成否を左右する重要な要因となっていた。この時、視線のヒットゾーン方向へのアプローチであるSEAは、カーソルのRCAの終了に先立って終了しており、その終点誤差はヒット試行で小さく、ミス試行で有意に大きな値を示した。これは、SEAに関わる情報がRCAの精度を高めていた可能性を示す一方で、RCAとSEAが共通の視覚情報ソースに基づいて発現しただけの可能性も考えられる。もし、後者であれば、試行毎の両者のオンセット時間に何らかの関係性が期待できるが、相関関係は見られなかった。また、通常実験で用いたターゲットの空間周波数（1.5 cycle/deg）を高空間周波数（6 cycle/deg）にすると、RCAやSEAのオンセット時間やSEAの終点誤差には変化が生じないにも関わらず、RCAの終点誤差のみが大きくなるターゲット速度域があった。高空間周波数の視覚刺激は低空間周波数の刺激よりも視覚情報処理速度が遅く、刺激検出後にボタンを押すだけの単純反応時間にも遅延が生じることが知られている。そのため、SEA終了後に取得された高空間周波数のターゲット情報が、通常条件より長い処理時間を必要とし、RCAのオンライン修正に間に合わなかったことが予想される。これらの結果は前者の可能性を支持し、RCAとSEAが必ずしも共通のソースを基に発現しているわけではないこと、また、終点誤差の小さいSEA後に取得されるターゲットの視覚情報がフィードバック情報としてRCAの終点誤差を軽減するのに寄与していた可能性を示唆する。

以上より、本研究は、連続視覚運動中の身体運動に先行する視線行動の精度が、身体運動の精度に寄与し、パフォーマンスの成否を左右する、と結論づけた。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　青山千紗　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者		
主 査	教授	佐藤　宏道
副 査	教授	北澤　茂
副 査	教授	大澤　五住
副 査	准教授	田村　弘
副 査	准教授	七五三木　聡

論文審査の結果の要旨

本論文では、卓球の高速ラリーのような、次々に飛んでくる球を捉える運動を「連続視覚運動」と名付け、連続視覚運動の制御の特徴および運動中の視線行動（視覚情報を取得し利用するための眼球運動）の特性と運動に果たす機能的意義を明らかにすることを目的とした。

複雑な腕運動の制御の影響を排除するために、示指と母指で力センサーを摘み、その把持力でパソコン画面上のカーソルを上下に動かして、水平方向に次々と飛んでくる「ボール」を「捕捉する」という課題を新たに開発して研究に用いた。課題の難易度は、ボールの速度を7条件設定することで調整した。本研究から、1)ボールを捕捉するためのカーソル運動の速度波形は、腕の到達運動で観察されるベル型を示し、特定の規範に基づいて運動指令を生成していること、2)カーソルだけでなく、視線も素早い眼球運動(サッケード)によりボール方向へ向かうこと、3）サッケードによる視線の到達はカーソルよりも時間的に早いこと、4）サッケード終了後から約100ミリ秒のわずかな時間で取得されるボールの視覚情報がフィードバック情報としてカーソル運動をオンラインで修正し、正確にボール近くまで到達させるのに役立っていること、などが示された。

従来、複雑であるがゆえに研究対象から外れていた「連続視覚運動」の制御の特徴を明らかにし、さらに身体運動に先行する視線行動によってフィードバックされる視覚情報の精度が身体運動パフォーマンスの精度に直接寄与することを明らかにした点についての学術的意義は極めて高く、基礎研究としての視覚運動の制御機構や神経回路に関する重要な知見を提供するとともに、スポーツにおける視線行動の役割などの応用研究としても有益な基礎的知見を提供することになった。

予備審査においては、研究成果を最適に示すための重要な指摘がなされ、青山千紗はそれに十分に応えて非常に充実した論文を作成するに至った。よって、青山千紗に博士（学術）の学位を授与するに相応しいと判断された。