

運動透明視刺激を用いた視機性眼球運動に関する研究

学位論文内容の要旨

視機性眼球運動は網膜上に投影される視覚像全体が運動した時に生じる追従性眼球運動であり、その多くは観察者が移動する際に生じる。視機性眼球運動により網膜上の像を安定させる事により、我々は明瞭な視覚情報を得ていると考えられている。一般的に、観察者との距離が長い視覚刺激ほどその網膜像の運動は遅くなるため、全ての像を安定させる事はできず、追従する刺激を選択する必要に迫られる場合が多い。視機性眼球運動の開始直後において両眼視差に基づく選択が反射的に行われる事は近年の研究で報告されている。しかし、選択に影響するその他の反射的な因子の有無や、観察者が注意を向けた刺激を追従し始める潜時については不明な点が多い。

本研究は、視機性眼球運動において追従する刺激の選択性を明らかにする事を目的とする。異なる方向に運動するランダムドットパターン(RDP)を重ねると、2つのRDPが異なる奥行き平面上で運動するように知覚される。本研究では、この運動透明視と呼ばれる現象を引き起こす視覚刺激を用い、刺激の選択性に関わる因子と、それにより追従運動が変化する潜時を調べた。本論文は8章で構成される。

第1章では、視機性眼球運動において追従する刺激を選択する事の必要性和、本研究の目的、および運動透明視刺激を使用した理由を述べた。

第2章では、運動透明視と追従性眼球運動に関する従来の研究をまとめた。

第3章では、本研究における眼球運動計測の原理である強膜反射法と計測装置の仕様、およびデータの解析方法を述べた。

第4章では、運動透明視刺激に誘発される視機性眼球運動の振る舞いを述べた。本章の実験では、注意に関する課題を被験者に与えていない。被験者は7名である。RDPの運動方向が直交する場合、眼球運動の開始時間は100 msであり、200 msまで刺激の平均的運動方向に動いた後に、特定の方向に運動するRDPを追従し始めた。2つのRDPの運動方向が逆の場合、潜時150 msにおいて眼球は特定の方向に運動するRDPを追従し始めた。その際、下方向に運動するRDPを追従しない傾向がある事が明らかとなった。

第5章では、手前または奥のRDPに注意を向け、注意を向けたRDPの運動方向を報告させる課題を与えた場合の、視機性眼球運動の振る舞いと知覚された奥行きに関する結果を述べた。被験者は7名である。RDP間の差異は運動方向のみであり、奥行き順序に関する手掛かりは刺激に含まれていない。眼球は100~150 msまで刺

激の平均的運動方向に動いた後に、反射的に特定の方法に運動する RDP を追従し始めた。この反射的な追従運動の方法は奥に知覚された RDP の運動方向と一致した。また、下方向へ運動する RDP は手前に知覚される傾向が見られた。これらの結果について、潜時 150 ms において反射的に追従し始めた RDP は、その網膜像の運動が他方の RDP の像に比べて遅いため、奥に知覚されたと考えられる。潜時 200 ms で、注意を向けた RDP の運動方向へ眼球運動方向が変化し始め、最終的に注意を向けた RDP を眼球は追従した。

第 6 章では、RDP 間の輝度差に基づく奥行き手掛かりを付加した刺激を実験に加え、7 名の被験者に第 5 章と同じ課題を与えた場合の、視機性眼球運動の振る舞いとボタン押しに関する行動学的データを述べた。RDP 間に輝度差がある場合、被験者は明るい方を手前に知覚した。輝度差が無い場合、被験者 5 名に対して、潜時 160 ms で反射的に追従し始めた RDP が手前に知覚される傾向が見られ、第 5 章と異なる結果が得られた。これらの被験者では、追従した RDP は網膜像のずれが小さく、明るい刺激として脳内で処理されたために、手前に知覚されやすくなった可能性がある。残りの 2 名については、眼球は注意を向けた RDP を追従し始め、2 種類の奥行き順序を等しい割合で知覚した。

奥行き知覚に基づき注意を向けた RDP の運動方向へ追従運動方向が変化し始める潜時は、奥行き手掛かり無しの場合 (240 ms) に比べ手掛かり有りの場合 (180 ms) は有意に早くなった。注意を向けた RDP の運動方向を報告するボタン押しの反応時間も、奥行き手掛かりがある場合は有意に短くなった。これらの結果は、奥行き知覚の潜時が奥行き手掛かりにより早くなった事を反映していると考えられる。

奥行き手掛かりが無い場合は 414 ms 以後に、奥に知覚された RDP の運動に誘発される眼球速度成分が手前の RDP に比べ小さくなる事が分かった。ボタン押しについても手前に比べ奥の RDP の運動方向を報告する場合は反応時間が有意に長かった。これらの結果は、手前に比べ奥の RDP の運動方向は判断しにくいとする被験者の内観報告を客観的に裏付けている。

第 7 章では、第 5 章と第 6 章の実験結果の違いについて考察した。また、追従刺激の選択性を調べるには、被験者の注意状態を制御する必要がある事を述べた。

本研究では、運動透明視刺激に誘発される視機性眼球運動の振る舞いを調べ、眼球は潜時 150 ms 以後に特定の方法に運動する RDP を反射的に追従し始め、180 ms 以後に奥行き注意を向けた RDP の運動方向へ追従運動が変化する事を示した。414 ms 以後に、知覚された RDP 間の奥行き順序が追従刺激の選択性に影響する事を明らかにした。以上の結果を第 8 章で総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 栗 城 眞 也

副 査 教 授 河 原 剛 一

副 査 教 授 山 本 克 之

副 査 助 教 授 小 林 哲 生

学 位 論 文 題 名

運動透明視刺激を用いた視機性眼球運動に関する研究

視機性眼球運動は、観察者の移動などにより網膜上の視覚像全体が運動する場合に生じる追従性眼球運動であり、その振る舞いには注意などの内的状態が逐次的に反映される事が知られている。このため、視機性眼球運動を計測する事により内的状態に関する情報を捉え、例えば人間の移動を支援する機器などに利用するといった工学的応用が期待できる。一般的に、網膜上では複数の視覚像が異なる速度で運動するため、眼球の追従する視覚刺激を選択する必要に迫られる場合が多い。近年の研究により、視機性眼球運動の開始直後において、両眼視差が追従刺激の選択に影響する事が示されている。しかし、追従刺激の選択に影響するその他の反射的な因子の有無や、注意を向けた刺激を追従し始める潜時など、不明な点が数多く残されている。

異なる方向に運動する2つのランダムドットパターン（RDP）を重ねると、それぞれのRDPが異なる奥行き平面上で運動するように知覚され、この現象は運動透明視と呼ばれている。RDP間の奥行き順序に関する手掛かり（速さや輝度の違いなど）が刺激に含まれない場合、知覚される奥行き順序がどのようにして決まるかに関しては不明である。本研究はこの運動透明視刺激に誘発される視機性眼球運動を計測・解析し、追従する視覚刺激の選択性について調べたものであり、主な成果は以下の点に要約される。

刺激呈示後 150 ms において、特定の方向に運動する RDP を反射的に追従し始める現象が見られた。その方向は被験者に依存するが、被験者全体では下方向に運動する RDP を追従しない傾向が見られた。また、RDP 間の奥行き順序

に関する手掛かりが刺激に含まれない場合、この反射的な追従運動が知覚される奥行き順序に影響する事が分かった。その影響は、眼球の追従運動による網膜像の速度変化に起因する可能性がある事を指摘した。

RDP 間に輝度差のある条件では、潜時 106 ms に明るい方の RDP を追従し始める事が分かった。その後、明るい方の RDP が手前に知覚されるため、潜時 244 ms において明るい手前の RDP を追従する眼球速度が増大する事が分かった。輝度差のない条件では潜時 414 ms において、手前に知覚された RDP の運動方向へ眼球運動速度が変化する事が分かった。これより、手前に視覚刺激がある場合、奥の刺激に関する視覚処理を抑制する仕組みが脳内に組み込まれている可能性がある事を指摘した。

RDP が互いに逆方向に運動する場合、奥行き知覚に基づき一方の RDP に注意を向けると、奥行きに関する手掛かりが刺激に含まれない条件では潜時 235 ms に、輝度差に基づく奥行き手掛かりが刺激に付加された条件では潜時 180 ms に、注意を向けた RDP の運動方向へ眼球運動速度が変化する事が分かった。ここで、輝度差に基づく奥行き手掛かりにより奥行き知覚の潜時が短くなったために、追従運動方向に対する奥行き注意効果の潜時が短くなった可能性がある事を指摘した。RDP が互いに直交する方向に運動する場合、奥行き手掛かりのない条件では潜時 200 ms に、奥行き知覚に基づき注意を向けた RDP の運動方向へ変化する事が分かった。奥行き知覚に基づき一方の RDP に注意を向けた場合、いずれの条件においても、最終的には注意を向けた RDP を眼球が追従する事を確認した。

以上を要するに、著者は運動透明視刺激を用いる事により、視機性眼球運動に関する諸特性を詳細に検討し、眼球の追従する視覚刺激の選択性に影響する因子についての新知見を得たものであり、生体工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。