

視聴覚制限事態における認知情報処理および心的負荷の計測

山崎 大暉

立命館大学 OIC 総合研究機構

1. はじめに

我々は常に外界からの膨大な感覚情報に晒されており、その中から特定の情報を効率的に抽出したり、処理したりすることは、円滑に日常生活を送る上で大変重要である。スポーツや運動事態において、良いパフォーマンスを発揮するためには、感覚器を通じて受容する情報をもとに、時々刻々と変化する周囲の状況を正しく知覚し、適切な状況判断などの認知活動をオンタイムで行うことが要求される。

動的な周囲の状況を把握するためには、空間的解像度に優れた視覚情報が特に重要になる。ヘッドギアやアイウェアなどの装着によって視覚が制限された場合、空間を効率よく認識できず、素早く精緻なパフォーマンスが困難になることは想像に難くない。さらに、物理的な遮蔽のみならず、認知的負荷が高い状況では運動に関する心的負荷が上昇し、運動パフォーマンスが低下することが知られている (e.g., Pageux et al., 2014)。そのため、競技者が装着する頭部防具には、感覚情報の入力を妨げないことのみならず、装着ストレスによって認知的活動を阻害しないことが要求される。

視野が物理的に広く確保されていても、視野内の全ての視覚情報を実際に処理できているわけではない。実際にどれほど有効な視覚情報処理が保たれているかを評価するためには、視覚情報を機能的に利用できる視野である有効視野 (useful field of view) を計測する必要がある (e.g., Richards, Bennett, & Sekuler, 2006)。有効視野とは、視覚情報が即時的に抽出されて処理される注視点周辺の機能的な視野領域として定義されている (e.g., Mackworth, 1976)。有効視野の広がり、注視点位置において文字同定課題などの中心課題を行いながら、周辺視野に呈示される視覚刺激を検出する周辺課題を行う二重課題によって計測される (e.g., Biederman et al., 1981; Sekuler, Bennett, & Mamelak, 2000)。有効視野は、中心課題が難しい場合には狭窄することが知られており (Williams, 1982)、認知的負荷との関係が議論されてきた。より実生活的な場面においても、運転中の速度増加に伴って有効視野が狭窄することが知られており (Anstey et al., 2005)、中心課題の難易度のみならず、課題中に利用可能な視野の広さや、身体的制約によっても影響を受けることが予測される。

そこで、本研究ではまず、物理的な視野制限が視覚情報処理の広さに及ぼす影響を検討した。具体的には、空手競技で実際に用いられている頭部防具である「メンホー」装着時の有効視野を計測し、非装着時と比較することで、中心視野および周辺視野における視覚情報処理への影響を検討した。ミズノ「ニューメンホーVII」は全日本空手道連盟において指定されている装具であり、軽量で装着時の負担が最小限に留められている (図 1)。透明なプラスチック製フェイスシールドにより、装着時の視野制限が少ないが、非装着時と比較すると周辺視野の視認性が劣る。また競技者は、装着時の拘束感や呼吸のしにくさといった違和感を感じるほか、非装着時には対応できた攻撃に対して対応できないなど、競技パフォーマンスの低減を経験することがあるという。実験 1 では、有効視野課題 (e.g., Sekuler et al., 2000) を用いて空手競技用ヘッドギアの装着による有効視野の変化を検討することで、スポーツにおける頭部装備が競技中の認知情報処理に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

次に、実験 2 では、ワーキングメモリ負荷が有効視野に及ぼす影響について検討した。先行研究では、中心視野に呈示された刺激に関する記憶を保持することで、偏心度 4.5 度に呈示される周辺刺激の同定成績が減衰することが知られているが

図 1. 実験 1 で用いたミズノ「ニューメンホーVII」。実際の空手競技において用いられており、視野中心を除き透明なフェイスシールドが設置されている。



(Williams, 1982), より広域的な視野範囲における影響や、視野方向ごとの影響は明らかでない。そこで、中心課題として実施する文字同定課題において、常に一試行前の文字を回答する 1-back 条件と、毎試行の文字を回答する 0-back 条件を設定することでワーキングメモリ負荷を操作した。先行研究に基づくと、ワーキングメモリ負荷が高まる 1-back 条件では有効視野が狭窄することが予測された。

実験 3 では、より実際のスポーツ時に近い状況での有効視野を検討する目的で、身体的負荷が有効視野の広がりにも及ぼす影響についても検討した。身体的負荷を歩行運動によって与えた場合の有効視野を計測し、静止時と比較することで、身体運動の影響を検討した。過去の研究では、座っている場合に比べて、立っている場合、および足踏みをした場合には、偏心度 57 度の周辺視野での視覚検出が妨げられることが報告されている (Reed-Jones, Reed-Jones, & Hollands, 2014)。実験 3 では、立位姿勢で静止した場合と歩行運動を行った場合の有効視野を比較することで、先行研究の追試を試みるとともに、身体的負荷による有効視野への影響が日常的な運動習慣の有無によって変化するかどうかを検討した。身体的負荷がかかる状況下での有効視野が運動習慣によって保たれる可能性を検討することで、スポーツが認知にもたらす利得について知覚的側面から明らかにできると考えられる。

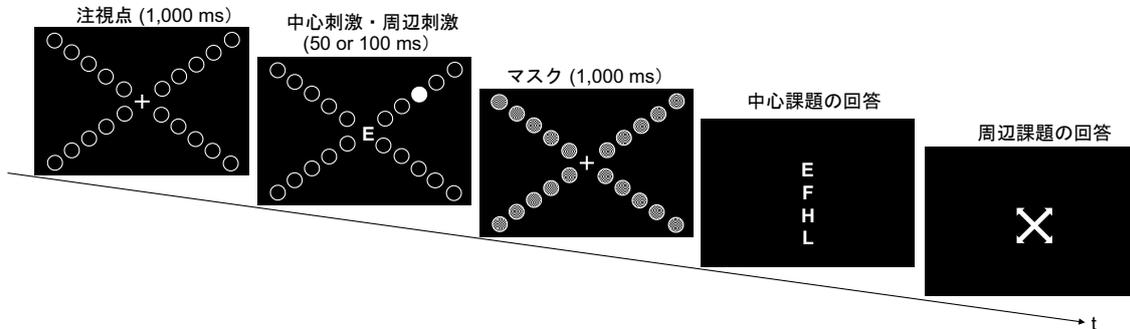
さらに現在、物理的な視野剥奪ではなく、視野内の視覚刺激の呈示領域が有効視野の広がりにも及ぼす潜在的影響に関する実験 4 を実施し、分析を進めている。過去の空間的注意の研究において、課題中の刺激呈示頻度が高い箇所に視覚的注意が向きやすいことが知られており (Ciammitaro et al., 2001)、刺激が出現する頻度が低い視野領域における有効視野が狭まっている可能性がある。そこで実験 4 では、有効視野課題における周辺課題の刺激呈示領域を参加者には教示せずに変化させ、有効視野の広がりを計測した。刺激が出現しにくい方向への有効視野の広がりを検討することで、スポーツ競技におけるフェイントや、運転場面における広域的な視覚情報処理に関する理解に寄与すると考えられる。

2. 実験 1：物理的な視野制限が有効視野に及ぼす影響

i. 参加者

大学生 24 名が参加した。実験参加者は、実験前に課題内容について説明を受け、自由意志による同意の上で実験に参加した (以下の実験でも同様)。

図 2. 有効視野課題。注視点ののち、中心刺激であるアルファベットと周辺刺激である光点が同時に呈示され、マスクが呈示された。参加者は中心課題のアルファベットを回答したのち、周辺課題の光点の方向を 4 択で回答した。



ii. 刺激と手続き

全ての視覚刺激は液晶ディスプレイ（東芝，65Z8X，W142.8 x H80.4 cm）に呈示された。実験では，空手競技におけるヘッドギアとして使用されているニューメンホーVII（MIZUNO，23HJHA177）を用いた。参加者は，ヘッドギア装着および非装着の条件において，有効視野課題を行った（Richards, Bennett, & Sekuler, 2006）。有効視野課題は中心課題と周辺課題からなる二重課題であり，参加者は常に画面の中心（注視点が呈示された位置）を注視しながら，中心視野と周辺視野に同時に呈示される刺激の両方を処理することが求められた（図 2）。各試行では，1,000 ms の注視点に続き，中心視野にアルファベット（E, F, H, L のいずれか）が呈示され，周辺視野 4 方向（それぞれ偏心度 5 条件：5, 10, 15, 20, 25 度）のいずれかの位置に光点が呈示された。参加者は手に持ったテンキーを使って，まず中心課題であるアルファベットを回答したのち，周辺課題である光点の呈方向をそれぞれ 4 択で回答した。

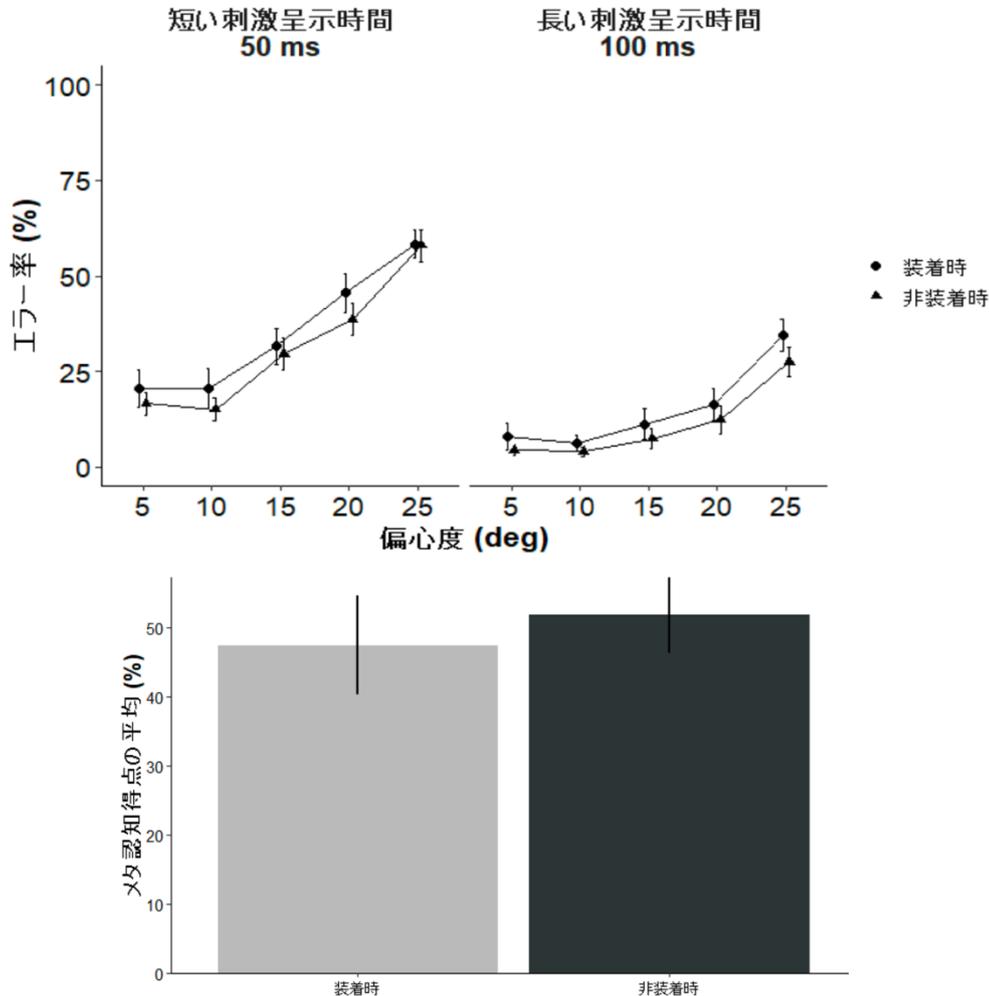
実験は 2 ブロックで構成され，ヘッドギア装着条件と非装着条件の実施順序は参加者間でカウンタバランスした。各ヘッドギア条件につき，周辺刺激の偏心度 5 条件，呈示方向 4 条件，刺激呈示時間 2 条件の合計 40 条件につき，各 3 試行ずつを実施した。中心刺激のアルファベットは各試行においてランダムに選定された。データ分析は，周辺刺激の呈示方向をプールし，ヘッドギア 2 条件（装着，非装着），周辺刺激の偏心度 5 条件（5, 10, 15, 20, 25 度），呈示時間 2 条件（50, 100 ms）の合計 20 条件を対象とした。

ヘッドギア装着が課題パフォーマンスに関する参加者の主観的評価に及ぼす影響を検討するため，各ブロック終了後にメタ認知を問う質問紙調査を実施した。参加者は，周辺課題における刺激呈示位置のうち（全 20 箇所），50%以上の割合で正答できたと思う位置を回答した。全刺激呈示位置のうち，参加者が回答した位置の割合をメタ認知得点とした。

iii. 結果と考察

周辺課題におけるエラー率の結果を図 3 に示す。中心課題が誤答であった試行を除外したのち，参加者ごとの各条件におけるエラー率を算出した。ヘッドギア，偏心度，呈示時間を独立変数とし，エラー率を従属変数とする三要因分散分析の結果，偏心度の主効果 ($F(4, 418) = 101.89, p < .001$)，呈示時間の主効果 ($F(1, 418) = 279.89, p < .001$)，およびヘッドギアの主効果が有意であった ($F(1, 418) = 10.87, p = .001$)。また，偏心度と呈示時間の交互作用が有意であった

図 3. 実験 1 の結果。(上) 有効視野課題の結果。横軸が周辺刺激の偏心度，縦軸は周辺課題のエラー率を示す。丸印がヘッドギア装着条件，三角印がヘッドギア非装着条件の結果をそれぞれ示す。(下) 有効視野課題に関するメタ認知得点。

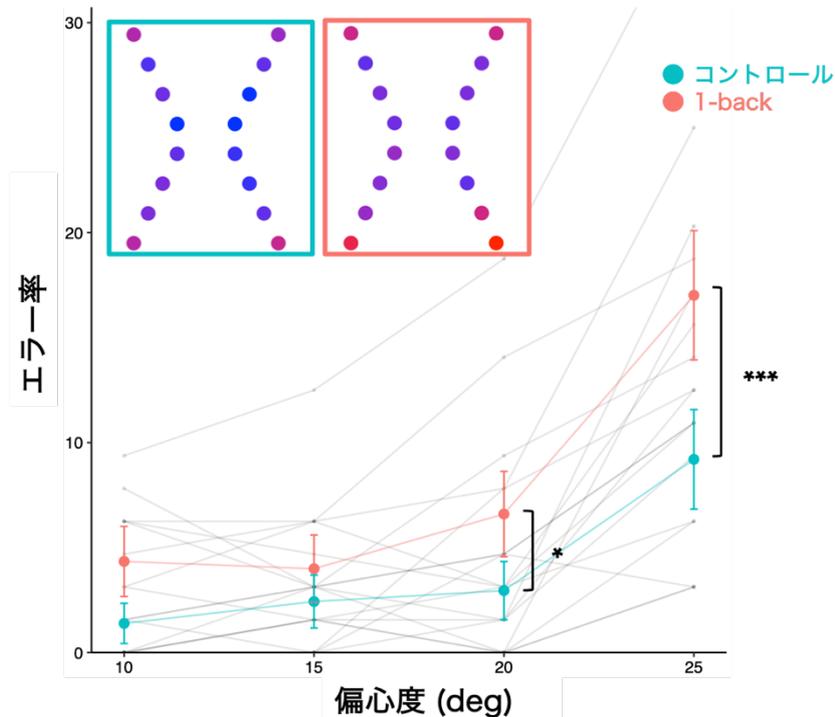


($F(4, 418) = 7.62, p < .001$)。ヘッドギアと偏心度，および呈示時間との交互作用は非有意であった。

また，メタ認知得点について，装着時と非装着時の平均値が異なるかどうかを対応のある t 検定によって分析した。その結果，ヘッドギア装着時のメタ認知得点は，非装着時と比べて有意に低かった ($t(22) = 2.28, p < .05$)。このことから，ヘッドギアの装着により，参加者自身が光点を正しく検出できたと感じる箇所が減ったことが分かる。

実験の結果，先行研究と同様に，エラー率は偏心度の増加に従って単調に増加した (e.g., Richards et al., 2006)。本実験における重要な結果として，ヘッドギア装着時のエラー率が非装着時と比べて常に高かったことから，ヘッドギアの装着により周辺課題のエラー率が上昇し，有効視野が狭窄したことが示された。また有効視野は呈示時間が短い場合により狭かったが，その傾向はヘッドギアによって変わらなかった。実験で用いた「ニューメンホーVII」は，透明なフェイスシールドによって周辺視野が広く確保されているにも関わらず，実際に視覚情報が処理できる有効視野は非装着時に比べて狭窄していると考えられる。さらに，有

図 4. 実験 2 の結果。縦軸はエラー率，横軸は周辺刺激の偏心度を示す。1-back 条件とコントロール条件の結果を異なる色で示す。内部のヒートマップは，各条件における周辺刺激呈示位置ごとの正答率を示す（青が高正答率，赤が低正答率）。



効視野のみならず，ヘッドギアの装着によって参加者の主観的なパフォーマンスも低減することが示された。これらの結果は，実際の競技場面においても，装具着用が思わぬ視認性の低下やメンタル状態の悪化を招く可能性を示唆しており，視野制限や心的負荷が少ない装具開発が望まれる。がまた，今回見られた視野制限による有効視野の狭窄は，スポーツ場面のみならず，眼鏡の着用や乗用車のフレーム，e スポーツのモニタなど，同様に視野制限を伴う場面においても生じる可能性があり，競技パフォーマンス向上やヒューマンエラー防止の観点において広く考慮される必要がある。

3. 実験 2：認知的負荷が有効視野に及ぼす影響

i. 参加者

大学生 20 名が参加した。

ii. 刺激と手続き

実験 1 と同様の有効視野課題を実施した。実験は 2 ブロックに分けて実施された。各ブロックでは，一試行前の中心課題で呈示された文字を回答する 1-back 条件と，現在試行の中心課題で呈示された文字を回答するコントロール条件を実施した。1-back 条件およびコントロール条件の実施順は参加者間でカウンタバランスされ，各条件の課題の詳細は各ブロックの開始時に教示された。

iii. 結果と考察

周辺課題における偏心度ごとおよび刺激呈示位置ごとのエラー率を図 4 に示す。目的変数を正答率とし，条件と偏心度の主効果および交互作用を固定効果，

参加者ごとの変量切片を変量効果とした線形混合モデルの結果、条件の主効果 ($\chi^2(1) = 11.97, p < .001$), 偏心度の主効果 ($\chi^2(3) = 153.62, p < .001$), および交互作用が有意であった ($\chi^2(3) = 11.97, p = .007$)。下位検定を行った結果、偏心度 20°条件および 25°条件において、1-back 条件エラー率がコントロール条件と比較して有意に高かった ($ps < .03$)。

これらの結果から、中心課題において一試行前の記憶を保持することによる認知的負荷の増大が、有効視野を狭窄させることが示された。また、刺激呈示位置ごとのエラー率を詳細に見ると、1-back 条件における成績低下は、上視野よりも下視野 25°においてより顕著であった (i.e., 図 4 内部パネル右のヒートマップを見ると、下側 25°が上側 25°よりもエラー率が高かったことが分かる)。このことから、認知的負荷の増大による周辺視処理の低減が視野において等方的でなく、下視野偏重であることが示唆される。下視野の視覚情報は、地面や床など身体と関連する環境情報を豊富に含むため、身体運動制御や姿勢制御に強く影響することが知られている (e.g., Danckert & Goodale, 2001)。下視野における視覚情報処理の低減は、素早い移動や正確な身体制御を必要とするスポーツ場面で不利に働く可能性があるため、競技者の認知的負荷を高めない競技環境や戦略の構築が求められる。

4. 実験 3：身体的負荷が有効視野に及ぼす影響

i. 参加者

大学生 20 名が参加した。

ii. 刺激と手続き

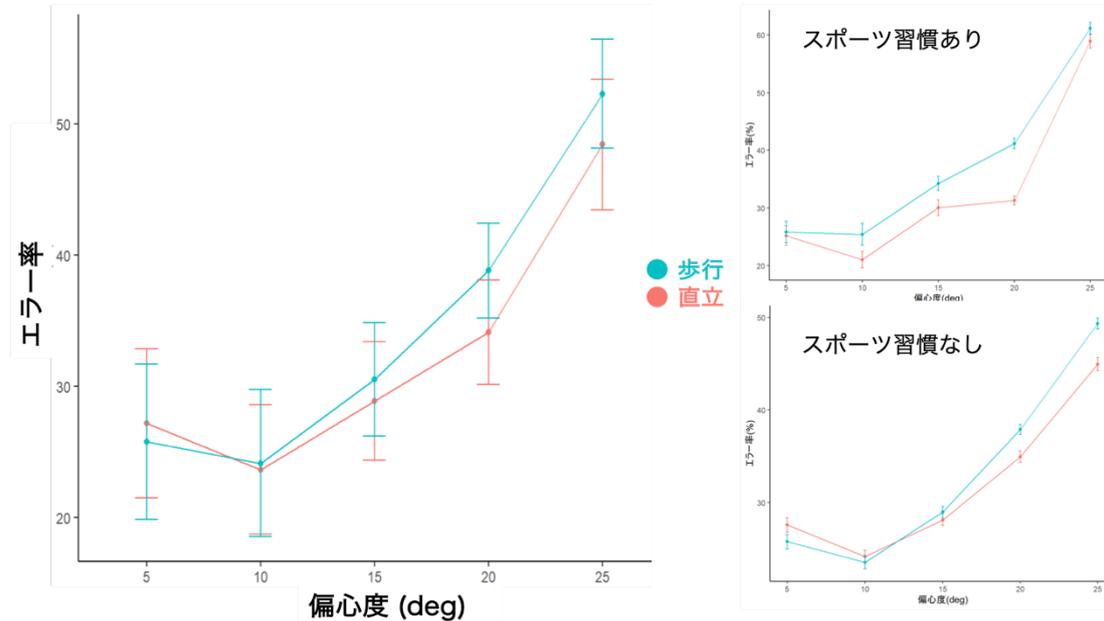
同様の有効視野課題を用いた。身体的負荷が有効視野に及ぼす影響を検討するため、参加者が静止して有効視野課題を行う立位条件と、その場で足踏みをしながら課題を行う歩行条件を実施した。立位条件と歩行条件はブロック別で実施され、実施順は参加者間でカウンタバランスした。各条件の詳細はブロック開始時に教示された。

本実験の終了後、参加者の過去のスポーツ経験および現在のスポーツ習慣に関する質問紙調査を実施した。その結果、全参加者のうち 6 名は部活動など日常的なスポーツ習慣があった。

iii. 結果と考察

各条件における周辺課題のエラー率を図 5 に示す。エラー率は偏心度に伴って上昇した。条件と偏心度の主効果および交互作用を独立変数、エラー率を従属変数とする分散分析の結果、偏心度の主効果が有意であった ($F(4, 17940) = 9.63, p < .001$)。しかし、条件の主効果 ($F(1, 172) = 0.37, p = .54$)、および交互作用は非有意であった ($F(4, 247) = 0.13, p = .97$)。これらの結果から、有効視野における歩行運動の影響は見られなかった。脳波計測を用いた先行研究では、歩行によって周辺視野情報の処理が促進されることが知られており (Cao & Händel, 2018)、本実験において歩行条件での周辺視処理の低減が見られなかったことと

図 5. 実験 3 の結果。縦軸はエラー率，横軸は周辺刺激の偏心度を示す。歩行条件と直立条件を異なる色で示す。(左) 全参加者の結果。(右) 日常的なスポーツ習慣の有無によって層別化した結果。



矛盾しない。また今回の実験操作は、参加者によるセルフペースの足踏み運動であったため負荷が軽く、また自己運動を伴わない点で実際の歩行と異なった。今後の研究では、異なる強度の負荷や異なる運動を検討することで、身体的負荷が有効視野に及ぼす影響の理解が進むと考えられる。

身体的負荷による影響は、参加者ごとのスポーツ経験の程度に依存する可能性があるため、質問紙調査に基づく日常的なスポーツ習慣の有無によって結果を層別化した (図 5 右)。歩行条件と直立条件とのエラー率の差は、スポーツ習慣のない参加者では偏心度が高くなるにつれて大きくなったのに対し、スポーツ経験のある参加者では偏心度 20°条件で最も大きく、25°条件ではほぼ同じであった。この結果は、暫定的ではあるが、歩行によって変化する中心視と周辺視のバランスがスポーツ習慣によって異なることを示唆しており、スポーツ経験者が身体運動中においても広域的な視覚情報処理を維持することを示唆する。スポーツ経験は高齢者において様々な視覚機能の維持に寄与することが知られており (総説として Muiños & Ballesteros, 2018)、運動中の有効視野もまたスポーツ経験の恩恵を受けると考えられる。

5. 実験 4 : 視覚刺激の呈示頻度が有効視野に及ぼす影響

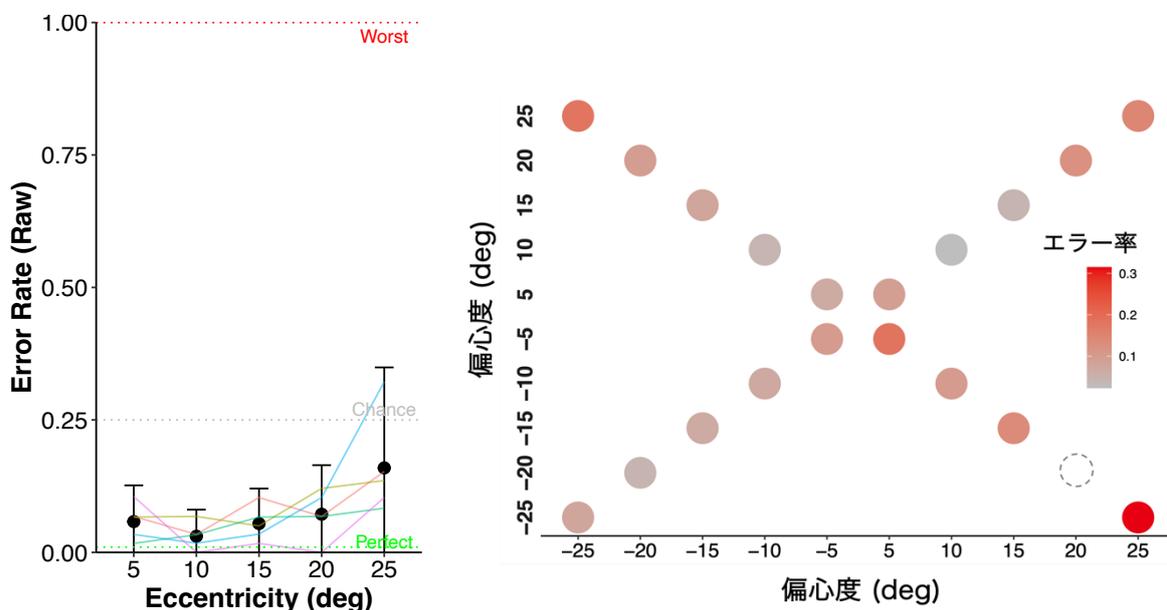
i. 参加者

大学生 6 名が参加した。

ii. 刺激と手続き

実験 4 では、刺激出現頻度による潜在的影響を検討するため、有効視野課題における周辺課題の刺激呈示位置のうち、右下方方向・偏心度 20°を除外した。参加者は刺激の出現頻度に関して事前に教示されず、いずれの参加者も実験の目的に気付いていなかった。

図 6. 実験 4 の結果。(左) 偏心度ごとのエラー率を示す。参加者間平均を黒色ドット、各参加者の結果を異なる色の折れ線で示す。(右) 刺激呈示位置ごとの結果。縦横軸は縦・横方向の偏心度をそれぞれ示す。ドットの色はエラー率を示す。右下 20°の点線は刺激が出現しなかった位置である。



iii. 結果と考察

周辺課題における偏心度ごとのエラー率、および刺激呈示位置ごとのエラー率を図 6 に示す。偏心度を独立変数、エラー率を従属変数とした分散分析の結果、偏心度の主効果は非有意であったが ($F(1, 28) = 1.61, p = .22$), 偏心度ごとの多重比較の結果、25°におけるエラー率は 10°および 15°と比べて有意に高かった ($ps < .05$)。さらに、刺激呈示位置ごとのエラー率を確認したところ、刺激が出現しなかった右下方向においてエラー率が高い傾向が見られた (図 6 左)。重要なことに、最も偏心度が高い 25°のみならず、最も注視点に近い 5°条件においても、検出成績が低減していることがわかる。実験 2 において、認知的負荷による視覚的影響は高い偏心度 (>20°) においてのみ生じていたことから、本実験の刺激呈示頻度による心度非依存的な影響とは異なるメカニズムが示唆される。

実験 4 より、物理的な視野制限がない場合にも、刺激の出現頻度が低い視野方向における光点検出成績が低くなる傾向が見られた。この結果は、過去の空間的注意研究で知られている刺激頻出箇所への視覚的注意の偏りと整合的であるだけでなく (Ciaramitaro et al., 2001), さらに、無意識的な視覚情報の空間的分布が有効視野の広がりにも影響することを示している。日常場面においても、情報頻度が高い視野方向の有効視野が広く保たれる一方で、情報頻度が低い方向においては、中心視にごく近い偏心度であっても (i.e., 5°), 即時的な情報処理が妨げられている可能性が示唆される。本実験では右下視野 20°のみの操作に止まったため、現在、異なる視野方向および偏心度において同様の操作を行う実験を計画しており、現象の一般性を検討する予定である。

6. まとめ

本研究では複数の心理実験を行い、スポーツを含む多様な日常的場面において重要である有効視野が、物理的な視野制限、認知的負荷、身体的負荷、および刺激呈示頻

度によって変化する可能性を検討した。これらの実験の結果、スポーツ競技で用いられるヘッドギアの装着、記憶保持による認知的負荷、および暫定的ではあるが、視野領域ごとの無意識的な刺激出現頻度によって有効視野が狭窄することが示された。一方で、歩行運動による身体的負荷の影響は見られなかった。これらの結果は、即時的な視覚情報処理が可能な機能的領域である有効視野が、観察者の装備や認知的状態、また周囲環境の事前情報によって変化しうることを示唆している。

本研究は、空間的認知に関する理論的背景に加え、空手競技者である研究室所属学生の主観的経験をもとに構想された。メンホーは透明なフェイスシールドによって視野が広く確保されているにも関わらず、競技者が装着時の違和感や主観的なパフォーマンスの低下を経験することがある。実験1の結果から、実際にメンホーを装着した際には有効視野が狭窄することや、参加者による課題成績の主観評価が低下することが示された。これらの実験結果は、装着時に競技者が経験しうる違和感を裏付けている。実験中、メンホーによって画面上の視覚刺激が遮蔽されることはなかったことから、ヘッドギア本体による高い偏心度 ($> 30^\circ$) の視野制限が主な要因であった可能性がある。この可能性は、刺激が出現しない視野方向では、欠損箇所より内側の視野領域においても視覚パフォーマンスが低下することを示した実験4の結果とも一致する。すなわち、ヘッドギアによって周辺視野が遮蔽されることにより、視野が保たれているはずの透明フェイスシールド領域においても視認性が低下したと考えられる。

また実験2および実験4では、ヘッドギア装着による視野の物理的遮蔽がない場合にも、認知的負荷や刺激呈示頻度といった認知情報処理に起因する有効視野の縮小が見られた。これらの結果は、競技中の様々な認知処理によっても有効視野が変化することを示している。スポーツ競技中には、周囲の状況や試合の局面の把握、歓声の中で指示を聞き分ける選択的注意など、同時に多くの認知情報処理が求められる。本研究の結果に基づくと、そのような高負荷状況においては、機能的な視野が縮小して周囲が見えづらくなっていると考えられる。また、刺激呈示頻度が少ない空間領域での視覚パフォーマンス低下を示す実験4の結果は、事象の頻度による視覚的注意の操作が、競技でのフェイントや相手の隙をつくパスなどの局面において有効であることを示唆する。これらの結果に基づき、スポーツ競技やeスポーツ、運転といった、高い周辺視パフォーマンスを維持しなければならない場面では、物理的に広い視野を確保することのみならず、マルチタスクや考え事、ストレスなどによって認知情報処理を阻害しないことが求められる。

今後の研究では、今回検討した有効視野のみならず、周辺視野における運動視などを検討することで、視覚情報処理における認知的負荷の影響をより詳細に理解することができる。さらに、加齢に伴う視覚情報処理の低減の程度は、スポーツ経験の有無によって変化することが知られており (Muiños & Ballesteros, 2018)、日常的なスポーツ習慣が周辺視処理に及ぼす可能性について検討することで、加齢に伴う視覚情報処理の維持やウェルビーイングに寄与すると考えられる。