

■研究論文■

講義形態による学生の頭部及び眼球運動の行動変容に関する科学的解析とスポーツビジョン行動解析機器 (V-Training) を用いた注意課題に対する頭部及び眼球運動の行動解析

吉澤達也¹、草野勉¹、生江史和²

1 神奈川大学人間科学部, 2 日本スポーツビジョン協会

要約：対面授業から遠隔授業への変更に伴う学生の行動変容が、講義内容の理解に影響を及ぼすか否かについては多くの研究が近年行われている。本研究では、行動変容の定量的な行動解析として遠隔授業と対面授業における受講学生の頭部運動、眼球運動を計測し、講義形態の違いにおけるこれらの行動の変化について報告する。

キーワード：遠隔授業、行動変容、眼球運動、頭部運動

1 緒言

新型コロナウイルス感染防止対策として遠隔による会議、講義が広く普及した。これをきっかけに、大学をはじめとする教育現場では学生等の講義受講時への新たな対応が様々求められている。遠隔授業と従来型の対面授業の間での行動変容や動態変容の状況を科学的に把握することは授業形式による差をもたらす学生のストレスへの対応として第一段階である。

受講時の学生の行動変容としては外形的には体の動き、特に、上半身や頭部や眼球の運動の変化が主要なものである。そのため、これらの生体計測を講義形式の違いによって比較する研究が行われている。

Madsen ら (2021) によれば、遠隔授業を受講中の学生の眼球運動をモニタすることによって、対面型授業と同じように学生の講義への興味や集中力を評価できることを報告している。つまり、講義形式の違いによる学生の行動動態への影響を観察できることを示し

ている。彼らは講義への注意が高い時 (図1A) と低い時 (図1B) の受講学生の眼球運動 (注視) の水平・垂直成分と瞳孔径の時系列変化を測定し、被験者間でその相関 (ISC: Intersubject Correlation) を注意が高い時と低い時で比較した (図1C)。また、眼球運動と瞳孔径の時間周波数成分の ISC を全実験参加者間で計算し、実験参加者の注意が高い時と低い時で比較した (図1D)。これらは実験参加者の注意の程度の違いを眼球運動、および瞳孔径の変化を時間領域、並びに時間周波数領域において定量的に示すことができることを示唆している。

一方、受講形態の違いによる学生の行動変容の外形的様態を知るためには頭部運動のような身体の変化も計測、解析する必要がある。

そこで、本研究では、特に学生の受講時における動態変容、特に眼球運動と頭部運動の変容について科学的に解析し、変容の状況を明らかにすることを目的とした。

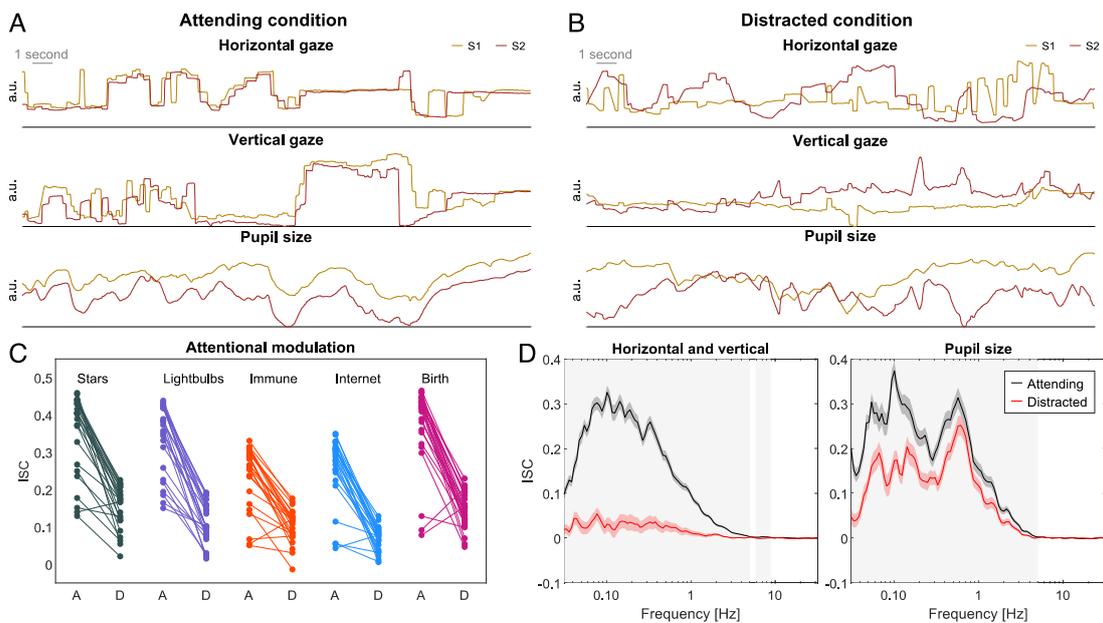


図1：講義中 (5 種類のビデオを視聴: Stars; Lightbulbs; Immune; Internet; Birth) の眼球運動と瞳孔径の大きさを実験参加者が講義に集中している場合 (Attending condition) と注意が阻害されている場合 (Distracted condition) に観察した結果。A：講義に注意が向いている時の眼球運動の水平方向成分 (上段) と垂直方向性分 (中段)、瞳孔径の大きさ (下段)。B：注意が阻害されている場合の眼球運動の水平方向成分 (上段) と垂直方向性分 (中段)、瞳孔径の大きさ (下段)。C：実験参加者間の眼球運動の相関 (ISC) の注意による変化 (A：Attending condition, D：Distracted condition)。D：眼球運動と瞳孔径の変化における ISC を時間周波数の関数として計算した結果。

2 行動変容に関する実験

遠隔授業と従来型の対面授業における学生の受講時の眼球運動と頭部運動の計測を行なった。

本実験はすべて「神奈川大学における人を対象とする研究に関する倫理規程」に基づいた「人を対象とする研究倫理審査委員会」による審査・承認のもと行われた。

実験に先立ち全ての被験者には実験の目的、内容を口頭、並びに書面で説明し、同委員会に承認された同意書への署名による同意を得たのちに実施された。

2.1 実験装置

一般的な遠隔授業の受講状況として被験者はラップトップコンピュータにより授業を受講した。13 インチのラップトップコンピュータ (Mac Book Pro) のモニタに表示される資料を視距離 40cm で視聴した。

また、対面授業の受講状況として講堂にあるスクリーン (投影サイズ: H212×V159 cm) に液晶プロジェクタ (ViewSonic Sight3D L50) によって資料が提示される授業を視距離 1.5 m で受講した。

頭部運動計測には NaturalPoint, Inc.製の Optitrack OptiHub 2 を用い、Workspace (ver. 2.9.2.0) (Arrington Research, Inc.製) で制御した。

眼球運動計測には Arrington Research, Inc.製の ViewPoint eyetracker USB-60x3 を用い、サンプリング周波数 60Hz で計測した。

2.2 実験条件と手続き

講義の観察時間は 30~60 分 (予備実験では 60 分) であり、被験者は普通の講義と同じ状態で聴講するように事前に教示された。また、被験者が講義に集中していたか、適切な受講状態にあったかを確認するために受講後、講義内容について簡単な質問を受けることが事前に伝えられており、全ての被験者において適切に受講されていることを実験者が確認している。

2.3 計測条件

1) 従来型対面授業では、学生は教室前方にあるホワイトボード (実験 1)、または、講義用スクリーン (実験 2) に提示された内容を見ながら、講義を聞いた。

2) 遠隔授業では、同じ教室、同じ座席において、ラップトップコンピュータを机上に置き、画面上に提示される講義内容を視聴した。

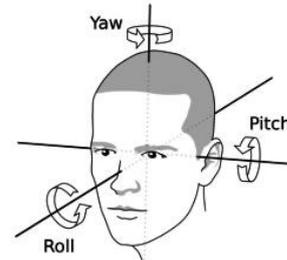


図 2. 頭部運動の種類 (Jantunen ら, 2016)

両条件において同一受講学生に撮影・計測と実験内容、目的を伝え、実験 1 では行動をビデオで撮影、実験 2 では計測器によって図 2 に示す頭部運動 (Pitch: 仰角、俯角)、眼球運動を同時に計測した。

2.4 被験者

全ての実験に神奈川大学の学生 (健康で視力が正常、または矯正視力が正常である学生) 5 名 (男 2 名、女 3 名) が参加した。年齢は 21 または 22 歳であった。

2.5 予備実験

精密な行動解析に先立ち、講義形式の違いによる動態変容の簡単な把握として講義中の頭部運動の回数をそれぞれ計測した。被験者の受講条件は本実験と同様である。

計測時間は、両授業形式ともに 60 分。頭部運動は被験者にマーカ付きキャップを装着させ、受講中の頭部の動きをビデオ撮影したのち、pitch の回転回数を計測した。

頭部運動 (pitch) の回転回数、及び、対面型授業時に対する遠隔型授業時の頭部回転数の比を図 3、4 にそれぞれ示す。図 3 の白棒は対面型授業時、黒棒は遠隔型授業時の頭部運動回数を表す。

5 名の被験者のうち、被験者番号 1 を除いた 4 名は遠隔型授業時の頭部運動が著しく低下していることがわかる。これは、対面型授業時の頭部運動回数に対する遠隔型授業時の頭部運動回数の比を見

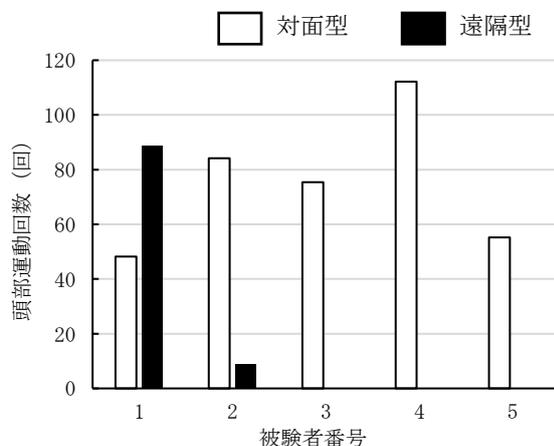


図 3: 60 分あたりの頭部運動の回数。白棒は対面型授業時、黒棒は遠隔型授業時の頭部運動回数を表す。

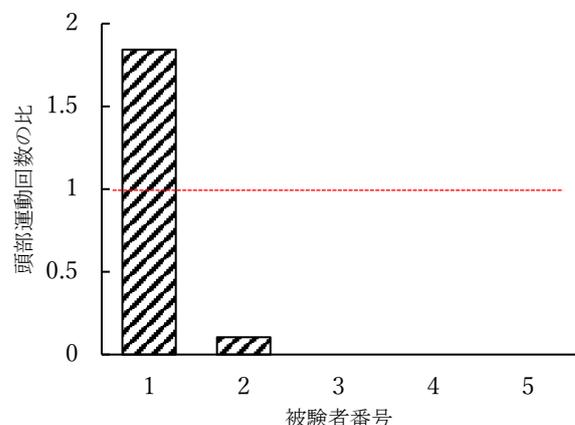


図 4: 対面型授業時に対する遠隔型授業時の頭部運動回数の比

ると、明らかであり、被験者番号2～5は頭部運動回数が著しく減少していることがわかる。

また、対面型授業時の頭部運動回数と遠隔型授業時の頭部運動回数の一対の標本による平均の検定 (t 検定) を 10%水準で行ったところ両者に有意な差があった。

なお、被験者番号1は教室の最前列に着席していたが、これが遠隔授業によって頭部運動が増加している原因であるかは不明である。

2.6 本実験

予備実験に参加した被験者5名のうち、頭部運動を安定して計測できた3名と眼球運動が安定して計測できた5名について結果を示す。図5は対面型 (Screen、以後 SC) と遠隔型 (PC) の講義形式での頭部運動 (Pitch 回転角) の変化を時間 (sec) の関数として表した結果である。縦軸は水平面からの回転変位角(°)を示している。対面型では基本的に仰角方位を基準として変位し、遠隔型では俯角方位を基準として回転していることがわかる。

頭部運動の定量的特性を比較するために、時系列値の統計量を調べた。回転角の変位について、分散、二乗平均平方根 (RMS)、歪度を計算した。表1に示す。

被験者3名のうち2名 (S1、S2) は対面型と遠隔型での頭部回転

表1：回転角の変位の統計量

被験者	分散		RMS		歪度	
	SC	PC	SC	PC	SC	PC
S1	14.42	4.83	14.21	16.99	0.08	0.31
S2	11.85	3.23	4.62	21.23	0.25	-0.05
S3	7.88	7.7	2.87	28.11	0.68	0.70

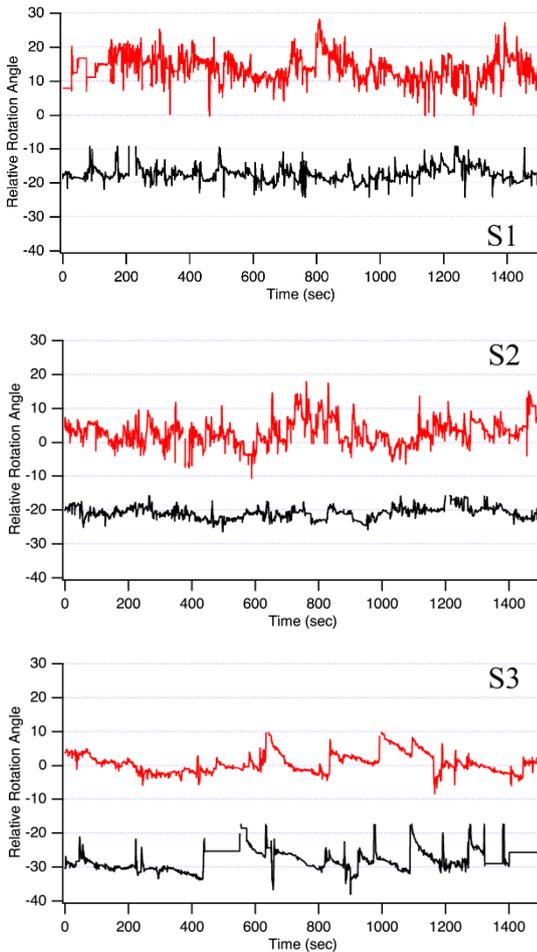


図5：頭部運動 (水平面からの仰角・俯角) の時間変化。縦軸は頭部回転角(°)、横軸は時間(52分)。回転角が正の値方向は仰角、負の値は俯角。—：対面型、—：遠隔型。被験者3名の結果。

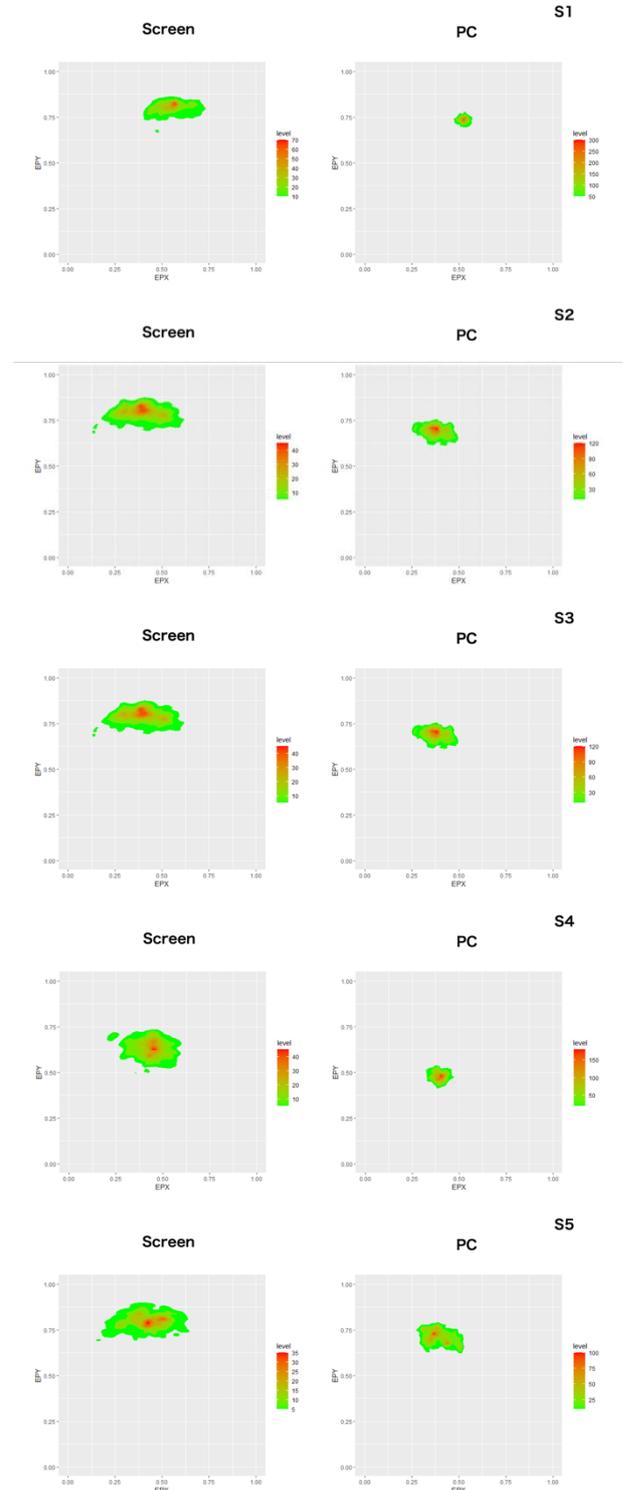


図6：被験者5名の眼球運動の位置分布をヒートマップで表示。緑ほど停留回数が少なく、赤いほど回数が多いことを表す。

角の変位に大きな差があり、対面型で学生が上下に3倍ほど多く回転していることがわかる。また、RMSを比較すると回転角の振幅の平均的な大きさは対面型より遠隔型の方が大きいことがわかる。歪度は受講形態に関わらず、分布が対称的であることから俯角方向と仰角方向への変位は対称的であることがわかる。

さらに各被験者のSCとPCの頭部運動を有意水準0.05でt検定したところ、被験者S1は $t(137226)=27.3$ 、被験者S2は $t(123673)=20.4$ 、被験者S3は $t(177906)=28.5$ で全被験者ともにSCとPCに有意差があった。

次に眼球運動の結果を示す。図6は受講中の被験者5名の眼球運動の位置の分布をヒートマップとして示し、眼球運動の停留回数（緑から赤になる程、停留回数が多いことを示す）に従って異なる色で表している。なお、ここでの眼球の位置は瞳孔の位置を計測した結果を示している。

全ての被験者において対面型（Screen）の方が遠隔型（PC）より広範囲に眼球を移動させていることがわかる。

眼球運動の分布の定量的特性として、各分布の形状（縦横比）と対面型（Screen）に対する遠隔型（PC）の眼球運動の位置分布の大きさの比を表2に示す。分布の縦横比は全ての被験者において受講型に関わらず、1以上であり水平方向の眼球運動が多いことを示している。また、対面型と遠隔型を比較すると、対面型の水平方向の眼球運動がより大きいことがわかる。さらに分布の大きさ比も全ての被験者において1以上であることから対面型の方が遠隔型よりも広範囲に眼球運動していることがわかる。

ただし、今回の実験では計測機器の制約から被験者はスクリーンから1.5メートルの距離で観察しており、大学の講義室の様な大きな場所ではその分布の広がりや着席する場所により異なるが、眼球運動は水平方向が多いことは受講形態に関わらず、観察されることが推察される。

また、どちらの受講形態においても眼球の停留位置はスクリーンの中心付近を頂点とした2次元のベル型分布であることが図6からわかる。

本実験では、眼球運動と頭部運動は受講生の受講形態により異なることが定量的に示された。一方、本実験では受講生の受講中の注意については測定していないが、Madsenら(2021)の研究結果を考慮すると、受講形態により注意が異なっていることが推測される。

表2：眼球運動の分布の特性

被験者	分布の縦横比			分布の大きさ比 (対面型/遠隔型)
	対面型	遠隔型	対面型/遠隔型	
S1	1.68	1.20	1.40	5.72
S2	1.47	1.11	1.32	3.28
S3	1.65	1.20	1.37	4.32
S4	2.47	1.73	1.42	2.25
S5	2.32	1.53	1.52	2.05

3 V-Training 利用時の頭部運動、眼球運動解析実験

ここでは視覚作業に注意を向けた際の頭部運動と眼球運動について

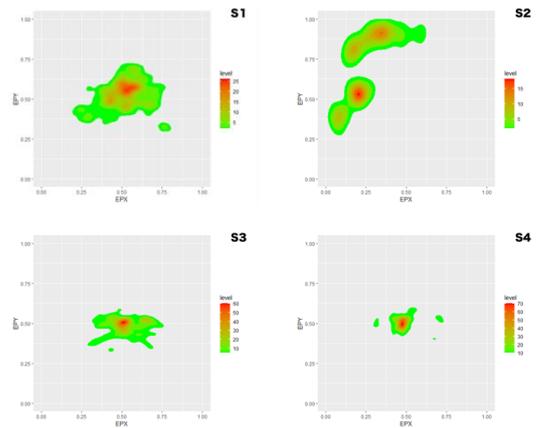


図7：「目と手の協調課題」実施時の被験者5名の眼球運動の位置分布をヒートマップで表示。緑ほど停留回数が少なく、赤いほど回数が多いことを表す。

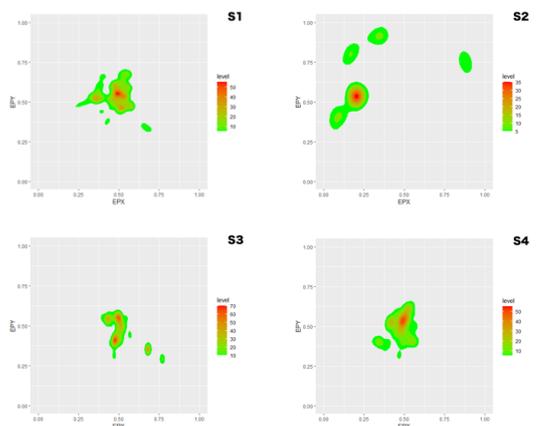


図8：「空間認識課題」実施時の被験者4名の眼球運動の位置分布をヒートマップで表示。緑ほど停留回数が少なく、赤いほど回数が多いことを表す。

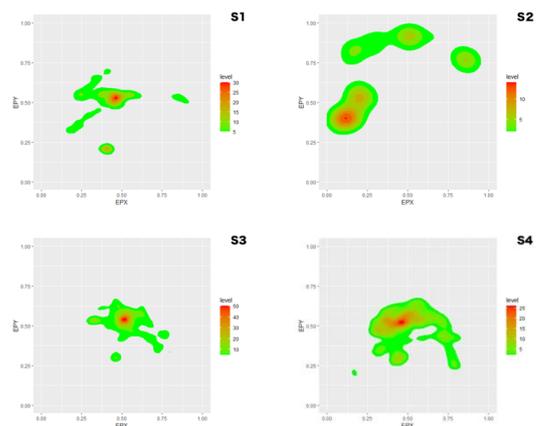


図9：「眼球運動課題」実施時の被験者4名の眼球運動の位置分布をヒートマップで表示。緑ほど停留回数が少なく、赤いほど回数が多いことを表す。

て調べるために、動体視力等視機能を評価、トレーニングする目的で開発されたV-Training（株東京メガネ社製）を用いて、次の3つの視覚関連課題中の頭部運動、眼球運動を測定した。

被験者は2.の行動変容の実験に参加した5名のうちの4名が参

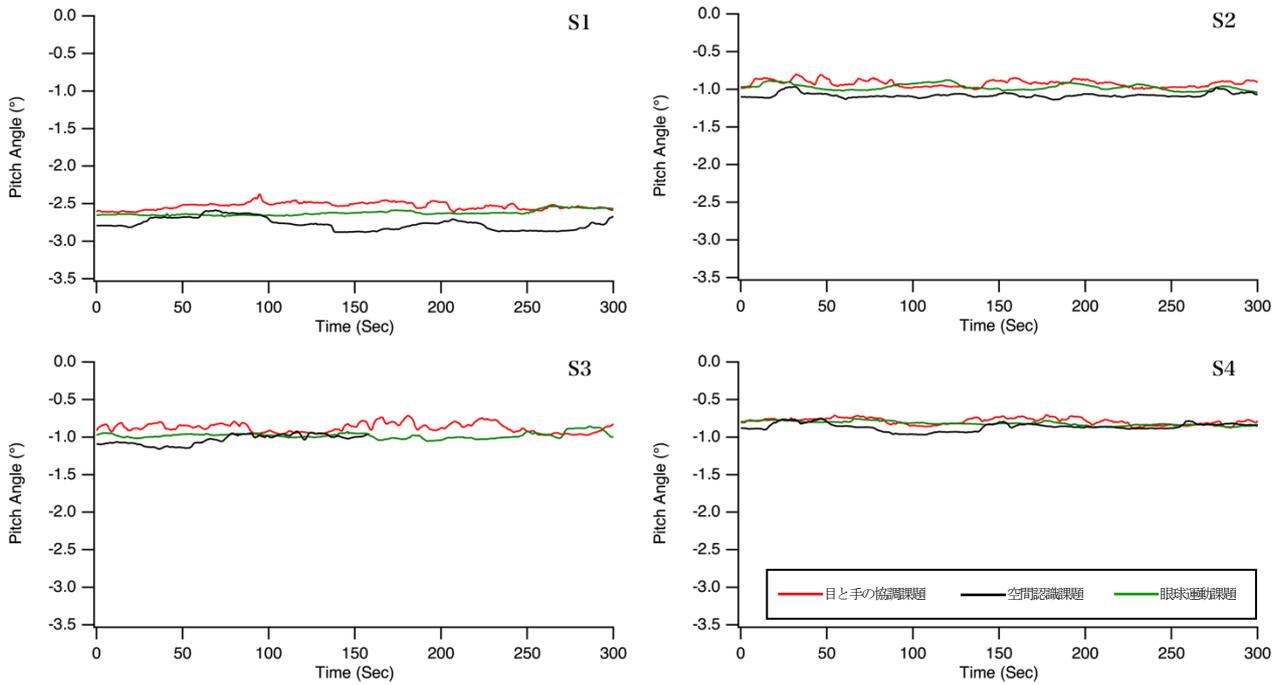


図 10：各課題における頭部運動被験者の前額並行面に垂直な水平面からの俯角の時間変化。縦軸は頭部回転角（俯角）、横軸は時間（5分）。被験者 4 名の結果。

加した。

- 1) スクリーン上の任意の位置に提示される対象（円形の図形）を検出したら、その位置を指で素早く応答する課題（以後、目と手の協調課題と呼ぶ）
- 2) 3次元空間を俯瞰した際の複数の対象の位置を2次元平面上に示す課題（以後、空間認識課題と呼ぶ）
- 3) スクリーン上を移動する対象（円形図形）を視覚的に追従し、対象の色が変わったら指で素早く反応する課題（眼球運動課題と呼ぶ）

被験者は実験 1、2 に参加した 5 名のうち 4 名であり、眼球運動、頭部運動の計測の前に各課題をそれぞれ一度練習した。

それぞれの課題に対する各被験者の眼球運動の計測結果を図 7～9 に示す。各図は、図 6 と同様、課題中の眼球運動を時間積分したヒートマップとして表している。

どの被験者も課題に関わらず、ほとんど同様な眼球運動の分布であり、画面の周辺領域を注視する被験者番号 S2 を除くと、多くの場合、画面中央とその近傍を巡回するような視線の動きであることがわかる。

一般に、課題の違いにより眼球運動は異なることが予測される。Posner ら (1980) は人間の注意は視線移動と独立して動かすことができ、期待される位置に注意を向けることで視覚的な反応が速くなることを報告している。また、Moore & Fallah (2001) は注意の制御と目の動きをつかさどる脳領域 (FEF など) は密接に関係しており、目の動きを計画する脳の信号を少し変えるだけで、注意を向けやすくなることをサルでの電気生理学実験により報告している。さらに Castelhano ら (2009) は人は課題が異なると注視する位置や注視対象に対する注視時間は変わるが、目の基本的な動き方自体 (例えば、跳躍眼球運動の大きさや 1 回の平均注視時間) は、課題によってあまり変わらないことを報告している。

本研究の 3 つの課題においては、視線は画面の特定の位置に集中しているが、注意は周辺に向けるという行動戦略が推察され、先行研究を支持する結果である。つまり、注意の強度と空間的分布は眼球運動のそれとは必ずしも同一ではなく、Madsen ら (2021) と同様に時間周波数領域での特徴を調べる必要性も示唆している。

次に各課題における頭部運動（ピッチ角度、図 1 参照）の計測結果を図 10 に示す。縦軸は頭部運動の角度、横軸は計測時刻である。各被験者ともに 5 分間計測したが、課題間での運動には差がほとんどなく、さらに頭部運動をほとんど行わずにほぼ画面中央を観察し（被験者間で回転角の標準位置は異なるが、いずれも画面の正面に対して僅かに俯き角度）、課題を行なっていることがわかる。

4 まとめ

行動変容に関する実験において、実験 1 では、対面型授業時の頭部運動回数に対する遠隔型授業時の頭部運動回数を比較した。統計的には有意な差が示された。これは、従来の対面型授業に比べて遠隔型授業には、頭部運動が減少することにより、眼光学系の調節がコンピュータ画面上に固定され、頸部付近の筋肉の緊張状態が長時間継続されことを意味しており、生体への影響が行動学的に示唆される。

ただし、被験者が 5 名であったことから、より大人数での調査が必要である。

実験 2 では、頭部の回転運動は対面型の場合の方が、遠隔型よりその変位の分散が 3 倍ほど大きいことを示す被験者がいた。

実験 1 と実験 2 から、頭部の回転数、回転角変位共に対面型授業の方が大きい値となったことから、遠隔型授業では、学生はほとんど頭部を動かしていないことが明らかとなった。

一方、眼球運動は、どちらの型式においても分布はスクリーンの中心付近を頂点とした 2 次元のベル型分布である。これは、講義内

容によって異なる可能性はあるが、周囲にはあまり注意を向けていないことを示唆している可能性がある。

V-Training 利用時の頭部運動、眼球運動解析実験では各被験者は頭部や眼球をほとんど動かさずに各課題を行なっている。これは、画面の中心付近を注視する一方で、注意を周辺に向けるために安定した視野の形成を行なうという戦略が取られたと推測できる。V-Training で訓練する視力は注視だけではなく、注意をどのように向けるかという戦略の訓練も行なっていることが示唆される。これについては科学的解明がさらに必要である。

謝辞

本研究は日本スポーツビジョン協会との共同研究として支援を受けた。

参考文献

Castelano, M. S., Mack, M. L., & Henderson, J. M. (2009).

Viewing task influences eye movement control during active

scene perception, *Journal of Vision*, 9(3), 1–15.

Jantunen, T., Mesch, J., Puupponen, A., Laaksonen, J. (2016).

On the rhythm of head movements in Finnish and Swedish Sign Language sentences, *Speech Prosody 2016*, 31 May - 3 Jun, 2106, Boston, USA

Madsen, J., Julio, S. U., Gucik, P. J., Steinberg, R., & Parra, L. C.

(2021). Synchronized eye movements predict test scores in online video education, *Proceedings of the National Academy of Science*, 118, 5, e2016980118

Moore, T., & Fallah, M. (2001). Control of eye movements and

spatial attention, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(3), 1273–1276.

Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention

and the detection of signals, *Journal of Experimental Psychology*, 109(2), 160–174.

(掲載決定日：2025 年 6 月 16 日)

■ Full Paper ■

Scientific Analysis of Behavioral Changes in Head and Eye Movements Based on Lecture Types and Behavioral Analysis of Head and Eye Movements in Attention Tasks Using Sports Vision Behavior Analysis Equipment (V-Training)

Tatsuya YOSHIZAWA¹ Tsutomu KUSANO¹ Hirokazu NAMAÉ²

1 Faculty of Human Sciences, Kanagawa University, 2 Japan Sports Vision Association

Abstract : Recent research has compellingly explored how transitioning from in-person classes to remote learning alters student behaviour and subsequently affects their understanding of lecture content. In this study, we conduct a comprehensive quantitative analysis of behavioural changes by meticulously measuring students' head and eye movements during both remote and in-person classes. Our findings reveal significant differences in these behaviours, highlighting the profound impact of lecture format on student engagement and comprehension.

Keywords : Remote-learning, Behavioural changes, Eye movement, Head movement