

研究助成実施報告書

助成実施年度	2021 年度
研究課題（タイトル）	シーケンシャルな視覚的变化の AI 活用型定量分析手法の提案 -VR 呈示を用いた森林空間の空間的特徴及び生理的効果の検証-
研究者名※	副田 和哉
所属組織※	第一工科大学 工学部建築デザイン学科 助教
研究種別	研究助成
研究分野	都市計画、都市景観
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団2021年度研究助成実施報告書

所属機関名 第一工科大学

申請者氏名 副田 和哉

研究課題	シークエンシャルな視覚的変化の AI 活用型定量分析手法の提案 -VR 呈示を用いた森林空間の空間的特徴及び生理的効果の検証-
<p>(概要) ※最大 10 行まで</p> <p>本研究では、森林空間の体験における視覚情報の変化とその脳活動を定量的に解析する新しい手法を提案した。具体的には、AI を活用して画像データから木漏れ日の視覚情報を抽出し、その経時変化を捉えるとともに、その効果検証として VR ヘッドマウントディスプレイを用いて被験者に画像データ群を呈示し、その脳波を計測した。特に、α 波と β 波の出現率の変化をフーリエ変換およびウェーブレット変換を用いて分析し、視覚情報の変化が体験者に与える影響を定量的かつ具体的に把握する。そして本研究の対象空間として実際の森林空間で撮影調査を行い、複数の森林空間を比較分析することで、本手法の汎用性を示すモデル的研究とする。これらの結果は、森林空間の評価における新たな指標を提供し、森林空間の社会的需要に応える一助となることを期待する。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>本研究の目的は、全周パノラマ画像を用いた視覚的変化の AI 活用型定量分析手法を提案し、森林空間の木漏れ日が形成するシークエンシャルな空間的特徴及びその生理的効果の基礎的知見を得ることである。</p> <p>視覚情報分析は、その空間要素を定量的に分析することにより、これからの建築・都市空間のあり方を検討する方法を切り開くものとして近年着目されている。しかしながら、これまでの空間の記述・分析は、スチルカメラやビデオカメラといったトリミングされた状態の画像・動画データをベースとしており、撮影の際の向きや画角に大きく影響を受けるものであった。また、視覚情報に立脚した空間分析においても、その空間体験が影響を及ぼす生理的現象にまで言及した分析は、ほとんど行われていない。即ち、これまでの研究では、向きや画角に影響されるトリミングされた画像を用いていたが、本研究では視野内の事物の比を定量的に把握できる全周パノラマ画像を利用する。さらに、空間体験が生理的現象に与える影響も考慮し、VR 呈示と簡易脳波分析を活用してシークエンシャルな空間体験を定量的に捉える。</p> <p>そこで本研究は、シークエンスを体験する際の脳波の変動に注目する。脳波については、これまでも多極の脳波計を用いた研究などがあるが、装置の着用にかかることや、装置そのものの専門性が高いことなどがあり、脳波分析を簡易的に行うことは困難であった。しかしながら近年、VR 技術の発達や実験に関する装置の発達もあり、そのハードルは下がってきている。簡易</p>	

脳波分析を用いることで、より無意識的な心理状態や知覚を、客観的に捉えることができ、シークエンス空間の特徴を定量的なデータに基づき分析することが可能となる。ひいては空間の質に対する従来の定性的なアプローチを補完する定量的なアプローチを提示できると考える。そこで本研究では、VR 呈示を用いた簡易脳波分析の実践的モデルを提示する(図1)。

また、本研究は、AI を用いた視覚情報の定量分析手法の自動化を試み、主観的な側面や作業的負担を軽減することで、現地調査に基づく豊かな森林空間の比較分析を行い、手法の汎用性を示すモデル的研究とすることを旨とする。

筆者らはこれまでに、ある特定の方向に依らず視野内の事物の比(立体角・立体角量)を定量的に把握することができる全周パノラマ画像を用いた離散的視覚情報の変化の定量分析手法(以下、QDP 手法)を提案してきた^{1) 2)}。ここで言う離散的視覚情報とは、シークエンスを形成する各シーン、各視点から撮影した独立した視覚情報群のことを指すものである。本研究では、そこで得られる視覚的变化が、空間を体験する人々の生理的反応に与える影響に注目することで、体験する人の視点から、空間におけるシークエンス体験を定量的に捉えるものである。

対象として視覚的变化のある森林空間を選び、シークエンシャルな視覚的变化に焦点を当てる。都市における森林空間への理論や社会的要求が高まる中、豊かな空間体験を持つ先例について議論することは、持続可能な森林と人との共生を考える上で重要である。

本研究の特色は、ある特定の方向に依らず視野内の事物の比(立体角・立体角量)を定量的に把握することができる全周パノラマ画像を用いた視覚的变化の AI 活用型定量分析手法を提案することで、森林空間において代表的な環境要因のひとつとされる木漏れ日を形成する陽斑を林内空隙率として客観的かつ定量的に抽出し、その空間的特徴及びその生理的效果を明らかにする分析手法を提案することにある。

- 1) 副田和哉, 平瀬有人, 三島伸雄: 全周パノラマ画像を用いた離散的視覚情報の変化の定量分析手法 パラッツォ型鑑賞空間を対象とするモデル的研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 86 巻 第 780 号, pp425-435, 2021.2
- 2) 副田和哉, 平瀬有人, 三島伸雄: 全周パノラマ画像を用いた離散的視覚情報の変化の定量分析手法 直列および並列房状鑑賞空間を対象とする比較検証, 日本建築学会計画系論文集, 第 87 巻 第 802 号, pp2699-2709, 2022.12

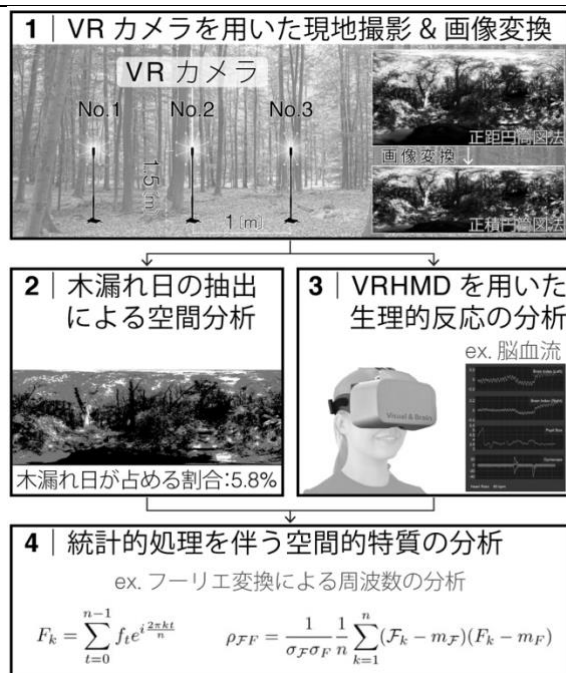


図1 本手法の流れ

2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

まず、我々は森林空間の木漏れ日の視覚情報を定量的に分析する手法を確立することを目指した。この目的を達成するために、いくつかの機器や脳波の扱いなどの研究手法を検討した。これらの議論を経て、最終的にシークエンシャルな視覚的变化の AI 活用型定量分析手法を確立することができた。

次に、この新たに確立した手法を利用して現地調査を実施した。対象となる二つの森林空間、ルート A とルート B において、木漏れ日による視覚情報の変化と、それに伴う空間体験者の脳活動の経時変化を測定した。この観測データは、簡易脳波分析により α 波と β 波の形式で得られた。得られたデータについては、それぞれの波形の変化傾向を分析した。これにより、特定の場所や時間での被験者の反応を観察することができた。また、全被験者に共通する波形の変化パターンも確認できた。その後、フーリエ変換を実施し、脳波の全体的な時間変動をさらに把握するための情報を得た。さらに、フーリエ解析に対する相関分析を行い、これにより二人の被験者が両ルートにおいて各被験者と強い相関を示したため、これらの被験者については、部分的な時間変動をさらに理解するためにウェーブレット変換を行った。

以上の分析により、それぞれの森林空間の木漏れ日による視覚情報の特徴や脳活動の違いを比較分析した。この過程で、木漏れ日による視覚情報の変化が空間体験者の脳活動にどのような影響を与えるのかの極めて基本的な事象を確認することができた。その結果、空間体験者の脳波活動にはルート A とルート B で明確な違いがあり、それぞれのルートが体験者の脳波活動に異なる影響を与える可能性があることが示された。

さらに、本研究では最近一般化してきた生成 AI である LLM (Large Language Models) をその分析に活用した。

本手法は現地調査に基づく豊かな森林空間の比較分析を、より効率的に行うことを可能にし、他の研究者にとっても汎用的な手法として役立つことを示すモデル的研究としての成果を上げることができた。今後もこの手法は、社会が求める森林空間の評価に貢献するものである。

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

ここからは、本研究の成果として確立した分析手法とその基礎的知識を整理する。まず、データの収集、現地調査の概要である。本研究ではこれまでの先行研究^{1) 2)}を背景に、夏季の森林空間における木漏れ日の視覚的特徴を定量的に評価するため、全天球カメラによる 130 秒間の動画撮影を実施し、画像データを正積円筒図法に変換し、明度ごとの占める割合を抽出した。陽斑抽出には AI を用いて画像中の明るい部分を自動的に特定し、木漏れ日の面積割合および個数を算出した (図 2)。

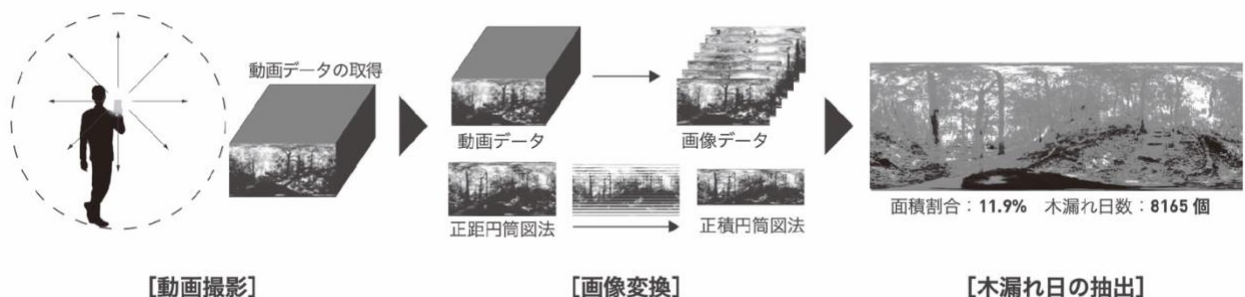


図 2 木漏れ日の抽出の流れ

今回は、鹿児島県の森林空間で2つのルート (ルート A・ルート B) で撮影を行った。

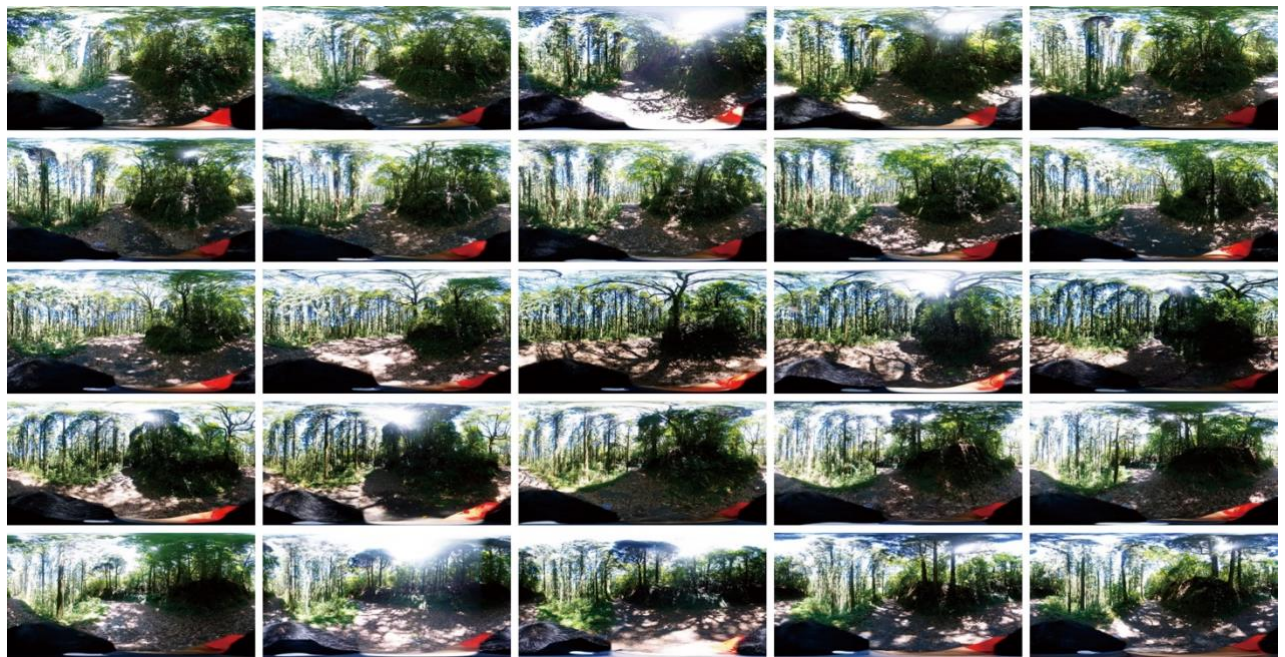


図3 ルート A の画像データ群

ルート A は林冠（森林の頂部で枝葉の茂った部分）がある程度閉じており、全体的に暗い印象のルートである。林相（樹木の種類や生え方などからみた森林の状態）としては片側がスギ人工林、もう一方が常緑広葉樹林となっている。閉じた林冠の隙間から、木漏れ日がコンスタントに差し込んでくる一定の変化の中に、時折、林冠ギャップ（林冠の大きなすきま）により明るい開けた空間が現れるルートとなっている（図3）。



図4 ルート B の画像データ群

ルート B は開けた明るい空間のスタート地点から徐々に林冠がある程度閉じた、適度に木漏れ日の差し込む空間へと入っていくルートである。林相としては常緑広葉樹林となっている。終盤にかけて時折、林冠ギャップによる明るい開けた空間があり、ゴール地点付近では完全に林冠が閉じた暗い空間となっている（図 4）。

撮影について具体的には、森林空間内でおおよそ人の視線の位置と同じ高さの 1700 mm から VR カメラ (RICOH THETA Z1) を用いてスタート地点からゴール地点まで 130 秒間、動画撮影を行った。撮影の際のカメラ設定はオートとする。また、森林空間における季節性の考慮に関して、今回は木漏れ日を形成する要素の中で季節性のある「日差しの強さ」、「葉の生い茂り」という 2 点を考慮し、夏に撮影を行うこととした。それ以外の要素として考えられる「太陽高度」、「風による木々の揺らぎ」に関しては、撮影時刻を太陽高度が 1 日の中で最も高くなる 11 時～13 時とし、風速は気象庁「地上気象観測指針」により定義されている軽風の上限值である 3.4 m/s 以下とした。次に、その撮影した動画データを 1fps ごとに画像として書き出し、連続的な画像データ群を取得する。その後、書き出した画像データ群を面積比率の正しい正積円筒図法へ変換を行う。（全周パノラマ画像とは前後に 2 つの魚眼レンズを持った全天球カメラによって生成される全天球画像に円筒図法を用いた画像変換を行なった空間の全周（360 度）が投影された画像データである。円筒図法とは球面を平面に展開する際に用いられる投影図法であり、必要な情報に応じて用いる円筒図法を使い分ける必要がある。）また、今回は明るさを表す指標として、 $L^*a^*b^*$ 色彩の L^* 値として 0～255 で表すことができ、簡易的に最も明るい部分を明度として抽出する。そのため、画像データにおける色情報を破棄し、その後 $L^*a^*b^*$ 色彩へ変換し、明度のみの状態とする。その画像変換を行ったのち、木漏れ日を形成する陽斑の抽出を行う。陽斑は林冠や樹幹などで遮断されていない見かけ上の明るい部分すなわち明度の最も明るい部分を抽出した。なお、本研究においては明度の上位 10 % である 230～255 を最も明るい部分と定義した。なお撮影におけるダイナミックレンジは実空間の輝度分布より狭くなるものである。カメラの精度を考慮した明るさの設定範囲の検討も今後の課題であるが、ただ今回設定した明るさの範囲でも、大まかな明るさの分布の配置を把握するには十分な精度を保持していると考え、分析モデルの一例として採用した。仮に画像上のある箇所においてダイナミックレンジの限界による白飛び・黒潰れが生じたとしても、その箇所が空間体験者にとって他の箇所より明るく・暗く見えることに代わりはないと考えたからである。そこで本研究では、画像全体のピクセル数に占める最も明るい部分のピクセル数の割合を「木漏れ日の面積割合」とし、1 ピクセル以上の大きさを持つ領域の数を「木漏れ日の個数」とする。この「木漏れ日の面積割合」を「木漏れ日の個数」で除した値を「木漏れ日率」として定義する。

以上のプロセスから得られた森林における木漏れ日の視覚的特徴に注目し、森林空間における視覚情報の経時変化を定量的に把握し、森林の空間的価値を評価する。

次に効果検証としての簡易脳波分析の概要である。本研究では、現実空間に対する代替性が指摘されている VRHMD による空間呈示を用い、2つのルートのシークエンスを被験者に呈示し、その際の脳波の時間変動を計測する。これはこれまでの VR による空間呈示に関する先行研究において、“[現場] (現実) と [全天球] (VR) との近似性が示される³⁾” ことが明らかにされており、他にも VR による実空間の再現性について研究が進められていることを考慮したものである。



図5 測定の様子

脳波の測定には、頭部の3点に電極を接続することで脳波測定が可能な GoodBrain 社のワイヤレス脳波測定器「Focus Calm」を使用した。無線かつ小型の簡易脳波計を用いることで、被験者への負担が少ない計測が可能である(図5)。また測定データの収集には同社が提供しているアプリケーションを使用し、CSV書き出しを行うことで、脳波の生データを取得した。

実験は、20歳前後(18-22歳)の健常な大学生を被験者として行った。被験者には実験についての説明を行い、署名をもらった。

測定の手順は、始めに1分間の閉眼安静状態を設け、続いて2つのVR動画を各被験者に3分間呈示し、脳波を測定した。2つの動画の間には、同じく閉眼安静状態で1分間のインターバル時間を設けた。

分析対象とするデータは、上記の計測で得られた値の中でも、観測値に大幅なばらつき認められた被験者を除き6名分とした。本研究は、このデータ群に対して統計的処理を行う。具体的には、まず数値化された脳波周波数を《 $1\text{Hz} < \delta < 3\text{Hz}$, $4\text{Hz} < \theta < 7\text{Hz}$, $8\text{Hz} < \alpha < 13\text{Hz}$, $14\text{Hz} < \beta < 40\text{Hz}$, $40\text{Hz} < \gamma$ 》の周波数帯域に分類し、構成比を求め、1秒ごとに平均化した。この各波の1秒間の出現率(%)を用いる。さらに被験者ごとの時間軸上の微差を考慮し、この周波数の出現率を5秒毎の移動平均の値とした。

ここで脳波について整理する。脳波は、脳の表面における電極によってとらえられる脳の電気活動の記録⁴⁾と定義されており、中枢神経系活動の指標の1つである。人間の心と行動を生み出す脳に焦点をあて、その脳の活動の電氣的な反映である脳波は、客観性、数量性、実時間性、連続性、非言語性と生体機能性などの利点がある⁵⁾と指摘されており、研究蓄積も多い。脳波は先述したように周波数ごとの区分が決められており、5帯域に分けられる。中でも、 α 波はリラクゼーションの指標とされ、 β 波は緊張・興奮状態の指標とされている⁶⁾。本研究では“ β 波の発生量が多い場合には視覚的処理が盛んである⁷⁾”や思考との関係性を指摘する複数の先行研究を考慮し(β 波に対する言及として、“ β 波は思考等の心的活動が活発なときに優勢に現われる⁸⁾”や“思考における脳の活動は β 波が指標として適している⁹⁾”、“眺望景観把握時における β 波の出現を確認できた¹⁰⁾”などがある。)、 α 波と β 波に注目し、その影響を把握する。

また本研究では、被験者ごとの脳波の変動を比較すべく、パワースペクトル解析とその相関性を比較する為、フーリエ変換とウェーブレット変換を行う。フーリエ変換を行い、その周波数の構造を比較することで近似性を確認し、全体としての動的視覚情報を内包する特徴を比較する。次に、ウ

ウェーブレット変換を用いることで、時々刻々と変化する脳波を解析し、部分における変化を考慮した動的視覚情報を内包する特徴を比較する。これは、フーリエ変換を用いた解析では、時間軸に沿った対象区間のスペクトルのみが得られるため、時間的情報が失われる⁴⁾、と指摘されていることを考慮したものである。他にも短時間フーリエ変換などが提案されているが、周波数分解能の低下などの問題¹¹⁾が指摘されている。

ウェーブレット変換による時系列データの解析は、フーリエ変換を用いる解析に比べると周波数特性が時間の関数として与えられることになり、時間軸、周波数軸、パワースペクトルの3次元情報として得られる利点があり、非定常な生体信号の時間変動を解析するのに有効な手法である¹¹⁾と考えたからである。本研究はこの2つのパワースペクトル解析を用い、相関係数を把握する。なお相関係数の値と相関性の目安として《 $-1 \leq r \leq -0.7$: 強い負の相関, $-0.7 \leq r \leq -0.4$: 負の相関, $-0.4 \leq r \leq -0.2$: 弱い負の相関, $-0.2 \leq r \leq 0.2$: ほとんど相関がない, $0.2 \leq r \leq 0.4$: 弱い正の相関, $0.4 \leq r \leq 0.7$: 正の相関, $0.7 \leq r \leq 1$: 強い正の相関》が示されている。

本解析を持って一見ばらばらに見える各個人における脳波の中でも、類似性が認められる変化の傾向を定量的に把握するものである。先行研究においても、“同一被験者間で比較的類似した傾向を示すものの、各景観映像において共通した β 波の推移は認められず、各被験者間で差が見られた。¹⁰⁾”や“「被験者」については全ての帯域で有意な差があり、逆に「模様の種類」(対象)については全ての帯域で有意な差が認められず、各模様(対象)に対する脳波の変化は個人差が大きいという結果となった。¹²⁾”などと、被験者ごとのバラバラな反応が指摘されている。

- 3) 杉田宗, 西名大作, 小林亮, 被験者 A 貴宏, 大石洋之: 全天球画像評価による屋外空間の心理的評価の代替可能性に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 83 巻 第 745 号, pp235-245, 2018.3
- 4) 大熊輝雄, 松岡洋夫, 上埜高志: 脳波判読入門編(第 4 版), 医学書院, 2009
- 5) 李早, 宗本順三: 脳波解析法を用いた水景空間と非水景空間の比較研究 中国の住宅団地の外構に対する視聴覚実験による脳波計測-, 日本建築学会計画系論文集, 第 75 巻 第 647 号, pp67-74, 2010.1
- 6) 金子真由美, 乗松貞子: 腰背部温罨法における湿熱法と乾熱法によるリラクゼーション効果の比較, 日本看護研究学会雑誌, 第 35 巻 第 4 号, pp37-46, 2012.
- 7) 大谷一郎, 梨木守, 北川美弥, 尾上桐子: 草地景観の静止画とビデオ画像による呈示の脳波反応の比較, 日本草地学会誌, 第 48 巻 第 6 号, pp522-525, 2003.
- 8) 佐藤仁人: 室内の窓や植栽・絵画が脳波等に及ぼす影響 執務空間における視環境の生理心理的影響に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 461 号, pp87-95, 1994.7
- 9) 北川かほる, 岡崎美智子, 古賀美紀: 開眼状態におけるたし算・音楽刺激が及ぼす生理的反応-脳波の周波数解析から-, 日本看護研究学会雑誌, 第 28 巻 第 1 号, pp115-120, 2005.
- 10) 横山広充, 福島和朗, 宮岸幸正: 眺望景観把握時の脳波特性に関する基礎的研究 高取山と大文字山からの眺望景観映像を対象として, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 857-858, 2015.9 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 55 号, pp. 797-800, 2015. 6
- 11) 本多薫, 若井正一: 地下街歩行時の心拍変動を指標とした生体負担の測定に関する実験的検討, 日本建築学会計画系論文集, 第 603 号, pp57-64, 2006.5
- 12) 尾形一樹, 秋田剛, 佐野奈緒子, 宇治川正人: 壁紙模様の反復性による心理・生理的效果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 39-40, 2016. 8

そして、上記の手法を用いて確認できた空間的特徴とその生理的反応の内容を分析モデルの一例として提示する。

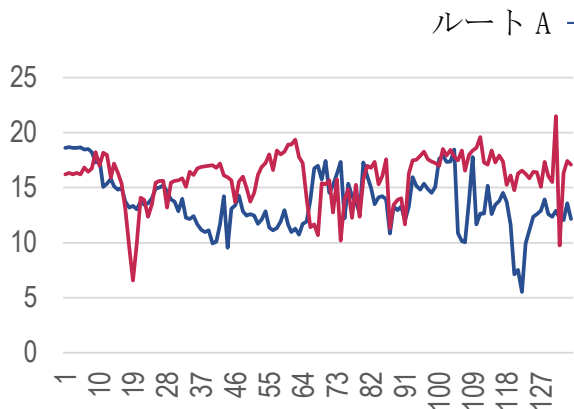


図6 明るさの割合

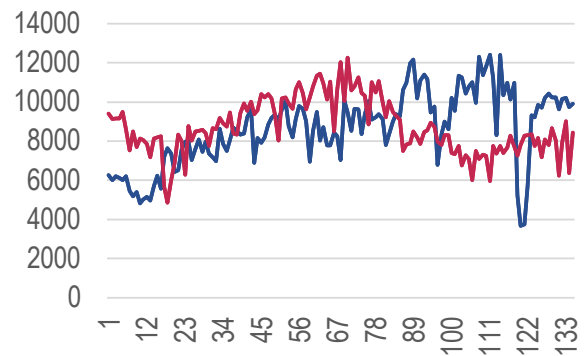


図7 木漏れ日の個数

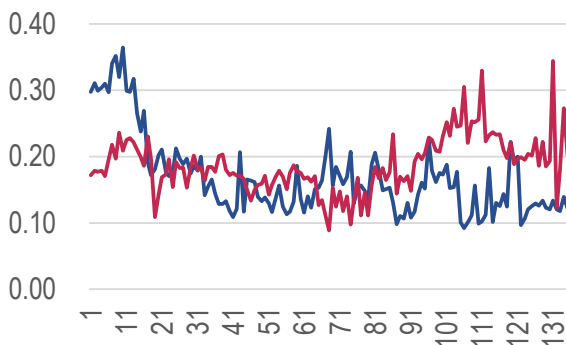


図8 木漏れ日率 (割合/個数)

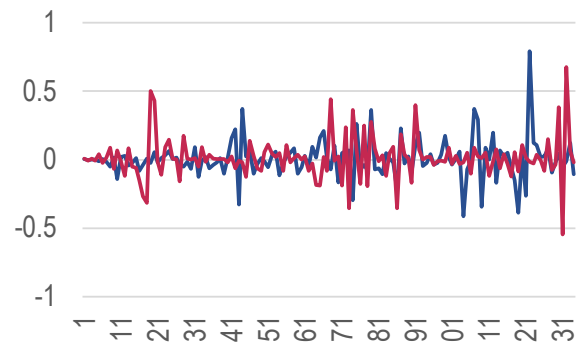


図9 明るさの割合の変化率

まず木漏れ日の定量化による空間的特徴についてである。

本研究ではまず、ルート A とルート B の各地点における明るさの割合を分析した (図 6)。

ルート A の明るさの割合は、全体的に低下する傾向を示している。特に、No. 1 地点から No. 8 地点までの明るさの割合は比較的安定しており、その後、No. 9 地点から No. 38 地点まで徐々に低下し、No. 38 地点で最低の 10.95% に達している。その後、明るさの割合は一定の変動を示しながら、No. 122 地点で最低の 5.54% に達している。一方、ルート B の明るさの割合は、全体的に変動する傾向を示している。特に、No. 1 地点から No. 8 地点までの明るさの割合は比較的安定しており、その後、No. 9 地点でピークを迎え、No. 19 地点で最低の 6.54% に達している。その後、明るさの割合は一定の変動を示しながら、No. 131 地点で最高の 21.49% に達している。ルート A とルート B の明るさの割合を比較すると、両ルートともに 10% から 20% の間で変動していることがわかる。しかし、ルート A は全体的に低下する傾向にあるのに対し、ルート B は全体的に変動する傾向にある。また、特定の地点では、明るさの割合が大きく変動していることが確認された。

次に、ルート A とルート B の各地点における木漏れ日の数を分析した (図 7)。

ルート A の木漏れ日の数は、地点によって大きく変動している。最小の木漏れ日の数は 3,685 個で、最大値は 12,419 個である。平均値は約 8,682 個である。データの分散や広がりを示す標準偏差は約 1,881 で、これはルート A 上の異なる地点で木漏れ日の数に大きなばらつきがあることを示している。ルート B の木漏れ日の数もまた、地点によって大きく変動している。平均値は約 8,713 個で、標準偏差は約 1,401 である。ルート B で観測された木漏れ日の最小値は 4,858 個で、最大値は 12,264 個である。これはルート B 上の異なる地点で木漏れ日の数にばらつきがあることを示し

ている。ルートAとルートBの木漏れ日の数を比較すると、ルートAは全体的に木漏れ日の数が多い傾向にある。

そして、ルートAとルートBにおける木漏れ日率の変化について分析した。木漏れ日率とは、特定の地点における明るさの割合を木漏れ日の数で割ったものである。本研究では、各ルートの各地点での木漏れ日率を計測し、その変化と傾向を分析した(図8)。

ルートAの木漏れ日率は初期の地点(No.1~No.6)では木漏れ日率が0.30前後で推移していたが、No.7で0.34へと上昇した。その後、No.7からNo.20までの間は全体的に木漏れ日率が低下し、特にNo.20で0.20まで減少した。No.21からNo.33までの間は比較的安定しており、その中でもNo.33では最低の0.14まで下落した。しかし、No.33以降は木漏れ日率が減少し、No.41で0.11と最低値を記録した。その後、木漏れ日率は再び上昇し、No.43で0.21となりピークに達した。その後の変動を見ると、No.67で0.20、No.74で0.21、No.81で0.21とピークが見られる一方で、No.87で0.10、No.106で0.09、そして最終地点No.135で0.12といった低下も見られた。これらの動きにより全体として木漏れ日率は上昇と下降を繰り返す、大きな変動が見られた。一方、ルートBの木漏れ日率もまた、初期の地点(No.1~No.6)では木漏れ日率が0.18前後で推移していたが、No.7で0.22へと顕著に増加した。その後、No.7からNo.17までの間は全体的に木漏れ日率が上昇し、No.17で0.23とピークに達した。しかし、その後は木漏れ日率が減少し、No.24までの間は緩やかに上昇した。その後も木漏れ日率は上昇と下降を繰り返し、特にNo.86で0.23、No.96~No.98で0.23、そしてNo.101で0.25、No.103で0.27、No.106で0.31といった高い値が見られた。一方でNo.68で0.09、No.70で0.12といった低下も見られた。終盤につれて木漏れ日率が大きくなるのは、林冠ギャップ(林冠の大きなすきま)による明るい開けた空間があり、これが影響を与えていると考えられる。両ルートともに地点によって木漏れ日率が大きく変動していることが明らかになったが、その変化に空間的特徴が関係していることが伺えた。

最後に、ルートAとルートBにおける明るさの変化率の変化について分析した(図9)。変化率とは、基準量に対してどれだけ増減したかという値である。「変化率 = {求めたい点の値 - 起点となる点の値} / 起点となる点の値」と定義されている。本研究では、各ルートの各地点での明るさの変化率を調査し、その変化と傾向を分析する。

ルートAの明るさの変化率は地点毎に大きく変化している。初期の地点(No.1~No.5)での変化率はほぼゼロで、No.6で僅かな上昇が見られたが、その後すぐにNo.7で-0.02まで減少した。No.7からNo.10の間で明るさの変化率は全体的に減少傾向にあり、No.10では-0.14と大きなマイナス値を記録した。No.12での0.03までの上昇やNo.14での-0.02までの下降など、変化率は一定の上下動を示している。特に、No.42では最大の0.22を記録し、No.43では-0.33という大きな下降を見せた。地点が進むにつれて、No.66で0.21の上昇からNo.70での-0.17という大きな下降、No.79での0.36の上昇からNo.86での-0.22の下降へと、変化率の上昇と下降が続いた。最も目立つ変動はNo.104での-0.41という大きな下降後、No.107で0.37まで上昇し、その後No.109で-0.34まで再び大きく下降した点である。No.122では0.79という最大の上昇を記録したが、No.119では-0.39という大きな下落も観察された。最後の地点、No.134では-0.11まで下降した。一方、ルートBにおける明るさの変化率も地点により大きく変動している。初期の地点(No.1~No.5)での変化率はゼロ付近にとどまっていたが、No.5で0.04まで急増し、No.6では-0.02まで微減した。その後、No.6からNo.8までの間では全体的に上昇傾向が見られ、No.8で0.09のピークを記

録した。しかし、その後は減少に転じ、No. 10では0.07となった。明るさの変化率は、No. 19で最大の0.50を記録するなど、地点によって上下した。特に、No. 131で-0.55という最大の下降を見せた後、No. 132で0.68まで大きく上昇した。最終地点、No. 134では-0.02まで下降した。その結果、両ルートともに地点によって明るさの変化率が大きく変動していることが明らかになった。

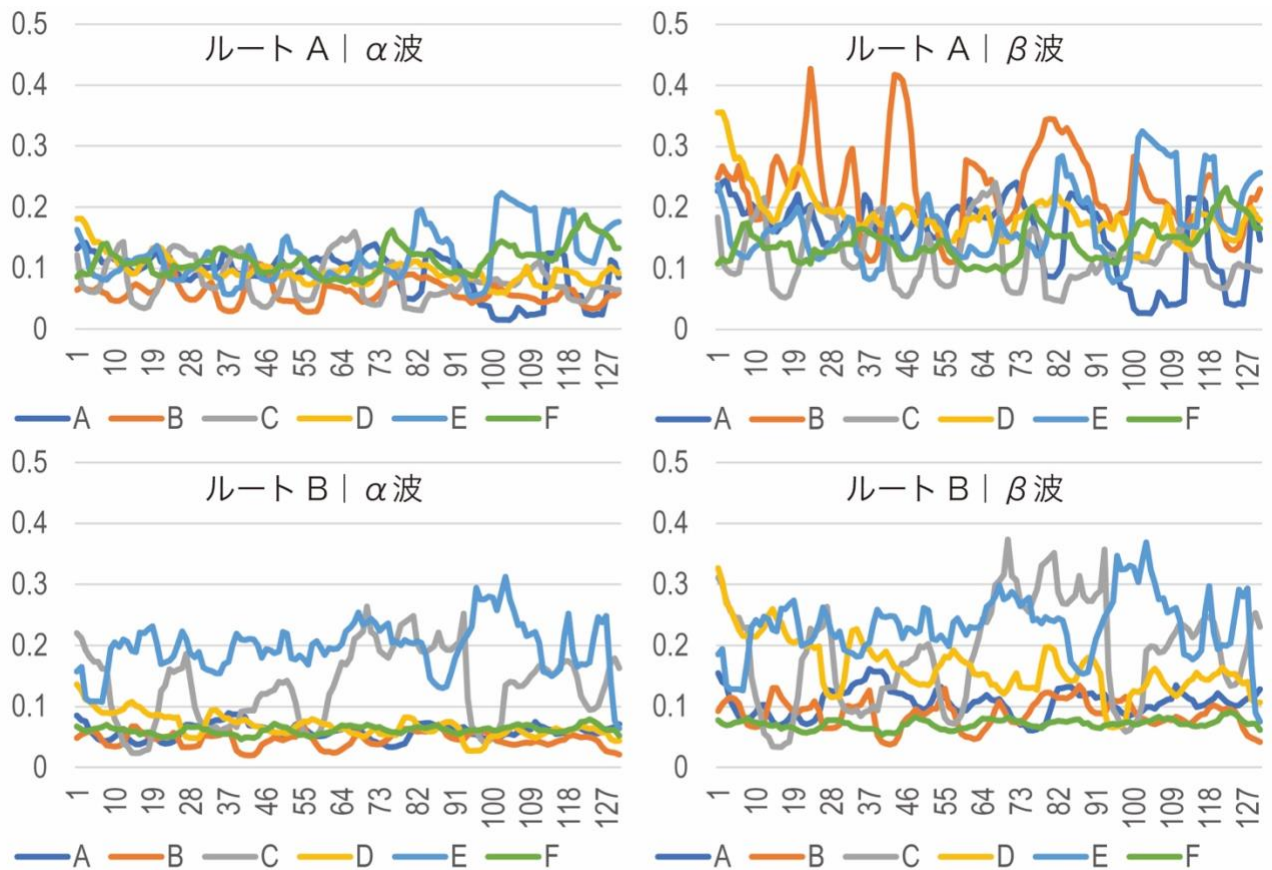


図 10 被験者ごとの脳波の出現率

次に脳波の計測による生理的反応についてである（図 10）。

まずルート A で、各被験者の各地点での α 波と β 波の変化を調査し、その変化と傾向を分析した。ルート A を体験した被験者の α 波は、地点によって大きく変動している。具体的には、中盤（No. 50 前後）では、すべての被験者が比較的同じような α 波値を示しており、ルート A のこの部分に対する経験や反応が共通している可能性がある。後半（No. 100 付近）では、被験者 A の α 波が他の被験者より高くなる傾向がある。これは、被験者 A がルート終盤でよりリラックスし、より瞑想的な状態にあったことを示唆している。

β 波もまた、地点によって大きく変動している。具体的には、すべての個人について、大きな変動はあるものの、時間の経過とともに β 波の値が減少していくという全体的な傾向がある。これは、実験期間中に能動的な集中力や注意力が低下したことを示唆していると思われる。一方で、 β 波の値が大きく増減するポイントが、特定の人にくつかある。例えば、被験者 B は No. 22 で β 波が大きく上昇し、No. 45 で高い値を示しており、注意力や集中力が高まっている時期であることを示唆している。

一部の被験者では、特定の地点で α 波や β 波が大きく増加または減少するという現象が確認された。これは、その地点で何らかの特異な状況が存在した可能性を示唆している。例えば、ある地点で極端な値を示す被験者がいる。これは、ルート A での特定の変化が、これらの被験者に強い影響を与えた可能性がある。また体験終了時 (No. 130) では、すべての被験者が開始時 (No. 1) よりも β 波活動が低下している。このことから、ルート A には、全体的に落ち着く効果があるのではないかと考えられる。これは、ルート A の体験が被験者のリラクゼーション状態や思考活動に影響を与える可能性を示している。

次にルート B で、各被験者の各地点での α 波と β 波の変化を調査し、その変化と傾向を分析した。ルート B を体験した被験者の α 波は、地点によって大きく変動している。具体的には、ほとんどの被験者において、 α 波の値は No. 1 から No. 10 付近まで減少し、その後再び増加し始めるという傾向がある。この傾向はすべての被験者で同様ではないが、ほとんどのケースで確認されるパターンである。終盤 (No. 100~No. 130) にかけて、ほとんどの被験者で α 波の値が上昇しているように見える。これは、終盤における脳活動の変化を示唆していると考えられる。

β 波もまた、地点によって大きく変動している。その中でもいくつかの傾向がある。例えば、被験者 A の場合、 β 波の測定値は No. 1 から No. 40 付近まで概ね上昇し、その後 No. 70 付近まで低下し、その後再び最後まで上昇する。他の被験者も、具体的な増減のポイントは異なるが、同様の傾向が見られる。一方で β 波の測定値は、被験者によって大きなばらつきがある。例えば、被験者 A の場合、0.061 から 0.161 の間である。この高い変動性は、 β 波の測定値が非常にダイナミックで、時間の経過とともに大きく変化することを示唆している。被験者間にも顕著な違いがある。ただ全ての被験者の β 波測定値が増減しているように見える箇所もある。例えば、No. 70 付近では、すべての被験者の数値が上昇しているように見える。これは、この地点で木漏れ日による直射日光によるものであり、 β 波の測定値に光が影響している可能性を示唆している。 α 波と β 波の値を比較すると、同じ場所、同じ時間帯で β 波の値が α 波より高いことがわかる。これは、被験者の活発な思考や集中力が強かったことを示唆していると考えられる。

本研究では、各ルートを体験した被験者の α 波と β 波の変化を分析した。その結果、ルート A とルート B では、 α 波と β 波の変化に明確な違いが見られた。これは、ルート A とルート B の体験が被験者の脳波活動に異なる影響を与える可能性を示唆している。

そしてこれらの脳波における全体的な時間変動をより把握するため、フーリエ変換による分析を行った (図 11)。

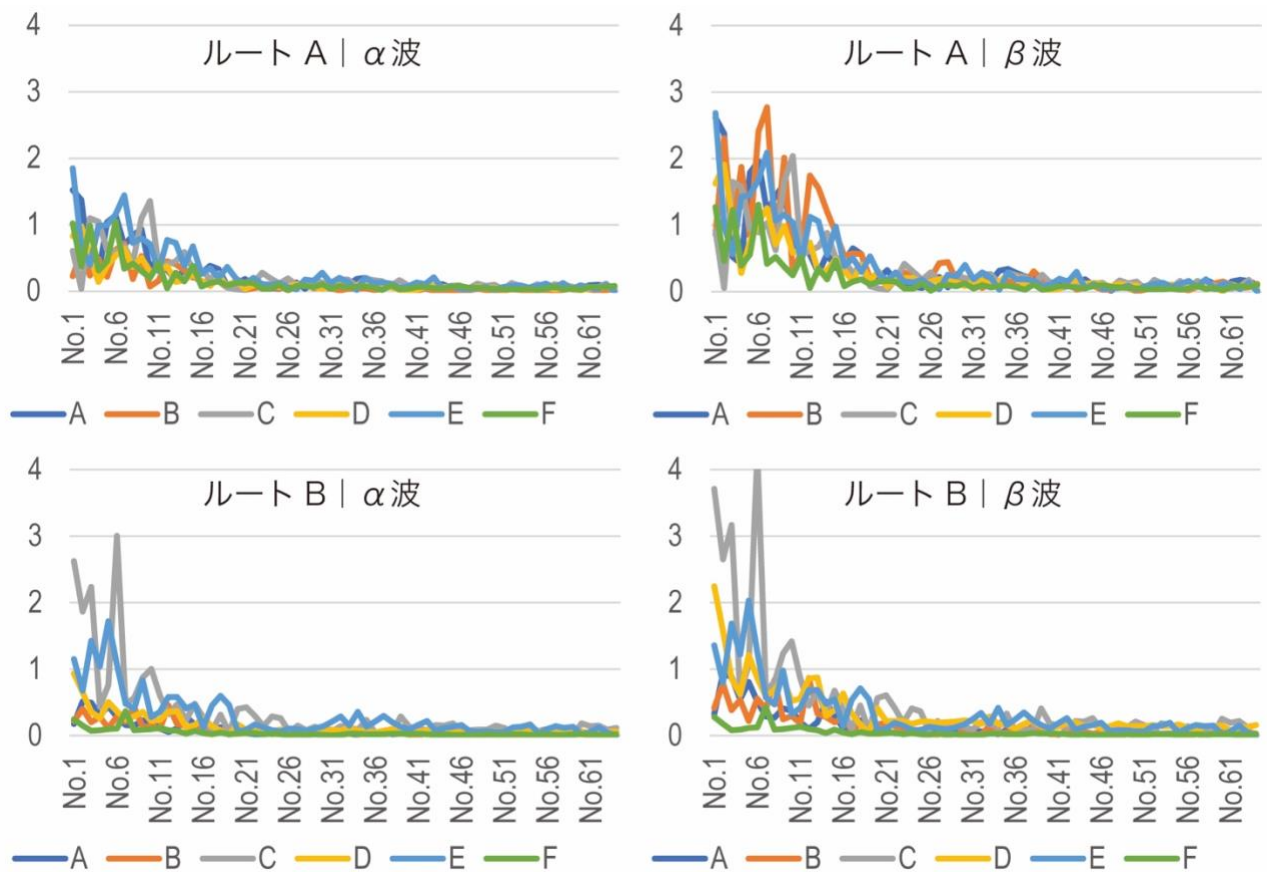


図 11 被験者ごとの脳波のフーリエ変換の値

まず、被験者がルート A を体験した際の脳波、特に α 波と β 波の変化を分析した。脳波データをフーリエ変換を用いて周波数領域に変換し、その結果を基に被験者の脳活動の特性を把握した。ルート A の α 波に関するフーリエ変換による解析結果は以下の通りである。

平均値：被験者 A0.76、被験者 B0.22、被験者 C0.35、被験者 D0.32、被験者 E0.45、被験者 F0.32
 標準偏差：被験者 A1.89、被験者 B0.99、被験者 C0.92、被験者 D0.99、被験者 E1.27、
 被験者 F1.06

これらの数値から、 α 波のデータには広い範囲の値が含まれており、時間帯による変動が大きいことが示された。また、平均値は最大値に比べて相対的に低く、低い周波数成分が支配的であることが示唆された。さらに、標準偏差が比較的高く、 α 波データが異なる時点で大きく変動していることが示された。

ルート A の β 波に関するフーリエ変換による解析結果は以下の通りである。

平均値：被験者 A1.93、被験者 B1.87、被験者 C0.89、被験者 D0.88、被験者 E0.91、被験者 F0.64
 標準偏差：被験者 A3.12、被験者 B3.65、被験者 C1.30、被験者 D1.36、被験者 E1.43、
 被験者 F0.89

これらの数値から、被験者 A と被験者 B の被験者は他の被験者に比べて β 波の平均活動量が高いことがわかった。また、被験者 B の β 波活動が最も変動が大きく、被験者 F の β 波活動が最も変動が小さいことが示された。

次に、ルート B の α 波に関するフーリエ変換による解析結果は以下の通りである。

平均値：被験者 A0.07、被験者 B0.09、被験者 C0.57、被験者 D0.20、被験者 E0.39、被験者 F0.04
標準偏差：被験者 A0.09、被験者 B0.08、被験者 C0.69、被験者 D0.15、被験者 E0.38、
被験者 F0.04

これらの数値から、 α 波のデータには広い範囲の値が含まれており、時間帯による変動が大きいことが示された。また、平均値と標準偏差から、 α 波のパターンが被験者間で一様でないことがわかった。一部の被験者（被験者 C や被験者 E など）は、平均値が高く、データのばらつきが大きいことから、より複雑で激しい脳活動を示している。

ルート B の β 波に関するフーリエ変換による解析結果は以下の通りである。

平均値：被験者 A0.16、被験者 B0.17、被験者 C0.84、被験者 D0.55、被験者 E0.52、被験者 F0.04
標準偏差：被験者 A0.18、被験者 B0.17、被験者 C0.84、被験者 D0.55、被験者 E0.52、
被験者 F0.04

これらの数値から、 β 波のデータには広い範囲の値が含まれており、時間帯による変動が大きいことが示された。特に、被験者 C のデータは、平均値が最も高く、実験中最も脳活動が活発であった可能性を示唆している。また、被験者 F のデータは、平均値が最も低く、この被験者の脳活動が最も活発でなかった可能性が示唆される。

本研究では、ルート A とルート B を体験した際の被験者の脳波の α 波と β 波をフーリエ解析し、その結果を分析した。 α 波と β 波のデータは広い範囲の値を含み、時間帯による変動が大きいことが示された。この数値により、一連のシークエンスにおける全体的な脳波の反応の特徴を比較することが可能になる。

表 1 ルート A | α 波のフーリエ変換の相関係数

相関係数	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D	被験者 E	被験者 F
A	-	0.71	0.51	0.91	0.83	0.77
B		-	0.61	0.78	0.79	0.60
C			-	0.57	0.69	0.62
D				-	0.82	0.78
E					-	0.76
F						-

表 2 ルート B | α 波のフーリエ変換の相関係数

相関係数	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D	被験者 E	被験者 F
A	-	0.71	0.51	0.91	0.83	0.77
B		-	0.61	0.78	0.79	0.60
C			-	0.57	0.69	0.62
D				-	0.82	0.78
E					-	0.76
F						-

さらにこれらのフーリエ変換の結果に関する相関分析を行い、両ルートにおいて各被験者と強い相関が認められた被験者 A と被験者 E について、より部分的な時間変動を把握できるウェーブレット変換を行った（表 1・表 2）。

本研究では、モデル的にルート A とルート B を体験した被験者 2 人（被験者 A と被験者 E）の脳波の α 波をウェーブレット解析し、その結果を分析した。それぞれのルート上の異なる場所で、2 人の被験者の周波数を測定し、その結果を比較した。

ルート A における α 波の解析では、両者とも、周波数帯 1 は初期に増加し、ピークに達した後、減少するようである。これは、ルート上の最初の部分に特異的な反応があり、その後減少すること

を示唆している。また両者とも、周波数帯 2 はルートに沿って一貫して減少しているように見える。これは、時間の経過とともに、ルートに対する漸進的な適応や慣れを示唆している可能性がある。また一方で、具体的な数値やピーク・谷の正確なポイントには違いがある。これは、脳の反応に個人差があることを反映している可能性がある。

次に、ルート B における α 波の解析結果である。両者とも、周波数 1、2 が他の周波数より高い値を示す傾向がある。これらは、これらの被験者の α 波の支配的な周波数である可能性がある。いくつかの周波数は、場所によって傾向を示している。例えば、被験者 A の場合、周波数 1 は最初増加し、その後減少するようであり、周波数 3 は最初減少し、その後増加するようである。これは、ルート B の特定の場所で、異なる脳波反応を引き出していることを示唆している。特徴点として、周波数値が大きく変化する場所と考えられる。例えば、No. 40 付近では、周波数 1 と周波数 3 の値が顕著に変化している。これは、この地点で木漏れ日による直射日光によるものであり、ルート B の中で、被験者の脳波パターンに変化をもたらすポイントである可能性がある。

本研究では、ルート A とルート B を体験した被験者 2 人の脳波の α 波をウェーブレット解析し、その結果を分析した。その結果、相関する被験者においてもルート上の異なる場所や時間帯によって、脳の反応が変化すること、そして、同じルートに対する脳波の反応に個人差があることがより詳細に示された。これらの結果は、ルート上の特定の要素が被験者の脳波パターンに影響を与え、それが α 波の周波数に反映されることを示唆している。また、個々の被験者がルートを進むにつれて、その脳波パターンが動的に変化することも示された。

まとめ

本研究では、シークエンシャルな視覚的变化の AI 活用型定量分析手法を確立し、この手法を使用して森林空間における体験者の脳活動の経時変化を観察し、分析した。特に、木漏れ日による視覚情報の変化が空間体験者の脳活動にどのような影響を与えるかを確認した。具体的には、2 つのルート（ルート A とルート B）を設定し、それぞれのルートで体験者の脳波（特に α 波と β 波）の変動を測定した。ルート A とルート B では、 α 波と β 波の変動に明確な違いが見られ、その結果、これらのルートが体験者の脳波活動に異なる影響を及ぼすことが示唆された。ルート A においては、 α 波の変動が特に顕著で、体験者がこのルートを経験することでリラクゼーション効果が生じていることが示された。特に経路の中間部分（No. 50 付近）では、すべての被験者が比較的同じ α 波値を示し、共通の体験と反応を共有している可能性を示している。一方、ルート B では、 β 波の変動がより顕著で、活発な思考や集中力に影響を及ぼすことが示唆された。特に、一部の被験者では特定の地点で α 波と β 波の大幅な増減が観察され、その地点で特異な状況が存在した可能性が示された。さらに、フーリエ変換分析とウェーブレット変換分析を使用して、これらの脳波の一般的な時間変動と部分的な時間変動を分析した。その結果、被験者の脳波応答には個々の違いが存在し、同じルートでも脳波反応に個体差があることが明らかにした。

総じて、本研究では森林空間におけるシークエンシャルな空間体験の一部を、特に木漏れ日という具体的な視覚情報の変化に焦点を当てて定量的に把握することができた。これにより、現地調査に基づく豊かな森林空間の比較分析が効率化され、本研究の手法の汎用性を示すモデル的研究として成果を上げることができた。森林空間の社会的需要が高まる今日、既にある豊かな森林空間を積極的に評価していくためには、本研究の手法が有用であると考えられる。

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究では、2つの森林スペースにおける視覚情報の変化とそれに対する人々の脳波活動を調査し、その間の相互作用について初めて定量的に理解を深めることができた。木漏れ日によって生じる視覚情報の変化が、空間を経験する人々の脳波活動にどのように影響を与えるかを確認することができた。しかしながら、この調査は極めて初本的なものであり、今後の課題として以下の項目が挙げられる。

本研究は比較的狭い範囲で行われ、限定的な森林スペースの中で調査が行われた。さまざまな森林のタイプ、つまり様々な樹種、気候、地形を含む場所での調査が必要である。さらに、異なる季節や時間帯における脳波活動の変動も考察するべきである。これらの変数は、視覚情報のパターン、光の強度、色調、影の形成など、視覚的な経験に大きな影響を与える可能性がある。

また各被験者は一意であり、その反応も異なる可能性がある。年齢、性別、健康状態、個人の心理状態、過去の経験などが脳波活動に影響を及ぼす可能性がある。今回はそれを補完すべく気分プロフィールなどの主観分析を取り入れたが、その有効な相関性を確認することはできなかった。

さらに、AI技術は、大量のデータを処理し、複雑なパターンを見つけ出す能力を持つため、脳波解析に特に適している。AI技術の進歩は日進月歩であり、新しいアルゴリズムや技術が登場するたびに、より精緻で効率的な分析が可能になると考えている。その一環として本研究でも昨今、一般化してきた生成AIであるLLM (Large Language Models) の活用を試みた。今後は、分析そのものに深層学習などの最新のAI技術を活用し、さらに高度な分析を行うことが考えられる。しかしながら、本研究の不十分さが本質的かつ空間的問題になるというものではない。本研究で用いた手法は他の空間への適用、言い換えると一般化が可能であり、それは本手法が明確化されたことに他ならない。以上により、本研究で提案したシーケンシャルな視覚的変化のAI活用型定量分析手法について、その有効性が示されたと言うことができる。本研究の立脚点はある特定の実空間である森林空間について、ある程度の客観性を確保する為の定量分析手法として用いることにあり、こうした手法が存在することが望ましいというものである。本研究の視点は今後、社会が求める豊かな森林空間の価値を的確に評価するための有用な手段を提供することであり、より社会的意味をもつであろう森林空間において、単なる緑や木々の集積と捉えるだけでなく、それら森林空間が持つ意味や価値について議論する際の足掛かりとなり、空間の新たな意味を考える重要な視座になるであろう。