



**Title:**Hilbert–Huang transform based pupil changes analysis for concentration assessment in skilled mowing  
(熟練者の草刈り作業における集中力評価のためのヒルベルト・ファン変換に基づく瞳孔変化解析)

**Authors:** Bo Wu, Yuan Wu, Ran Dong, Kiminori Sato, Soichiro Ikuno, Shoji Nishimura, Qun Jin

(武 博 (東京工科大 コンピュータサイエンス学部 講師) 呉 燿(愛国学園大 准教授) 董 然(中京大 講師)  
佐藤 公則 (東京工科大 コンピュータサイエンス学部 教授)  
生野 壮一郎 (東京工科大 コンピュータサイエンス学部 教授)  
西村 昭治 (早稲田大 人間科学学部 教授) 金群 (早稲田大 人間科学学部 教授))

**Journal:** Scientific Reports

**掲載年月:** 2025年7月

**研究概要 :**日本の丘陵地帯や山岳地帯では、急勾配のため草刈作業は人力で行わざるを得ない。しかし作業員が草刈り時に直面する環境は複雑で、同時に異なる視覚刺激に対処する必要がある。これらの要因は特定の瞳孔変化データにも反映され、草刈り作業中の集中力にさらなる影響を与える。本研究では、広島における様々な地形（平地と斜面）での一連の実験に基づき、フーリエ変換やウェーブレット変換よりも効果的に瞳孔変化の非線形性を表す異なる周波数パターン（固有モード関数、IMF）を計算できる動作分解技術ヒルベルト・ファン変換（HHT）に基づく瞳孔変化の解析手法を提案した。提案した多重比較・フィルタリング手法「MCFID」を基盤とし、統計的ツールを用いて特定の刈り取り動作（刈り取り・持ち上げ）に直接関連する IMF を特定した。対応する IMF を監視することで、対応する瞳孔運動の周期を算出可能であり、さらに被験者の集中状態などの情報を逆方向に推定できる。

**研究背景 :**日本のこうした丘陵地帯や山岳地帯では、自然災害を防ぐため毎年多くの雑草を刈り取る必要がある。しかし、急勾配（40度以上）のため標準的な遠隔操作式や自動芝刈り機の使用が不可能であり、刈り取り作業は人力に頼らざるを得ない状況だ<sup>1</sup>。斜面での刈り取り作業は、作業員が転落などの重大な安全リスクに晒されることを意味し、調査によれば、毎年発生する農業事故の約30%が作業員の不安定な姿勢に起因している<sup>2</sup>。したがって、熟練作業員の安定性の秘訣を、草刈り時の動作分析を通じて解明することが重要かつ必要となる。

**研究成果 :**本論文は、日本・広島における一連の眼球運動実験に基づき、作用分解技術であるヒルベルト・ファン変換を用いた人間の瞳孔変化の解析手法及び関連するフィルタリングフレームワークを提案した。具体的には、提案した MCFID フレームワークを用いて、刈り取り動作（図 1、刈り取りと持ち上げ）と一般的な歩行を瞳孔変化データで比較した結果、特定の刈り取り・持ち上げ動作に直接関連する IMF（#4 および#6）を発見した。これらの IMF は対応する瞳孔運動の周期計算に利用可能であり、さらに被験者の集中状態などの情報を逆方向に推定できる。



図 1 一連の刈り取り動作（平坦な地面での）

**社会への影響 :**これらの特定の刈り取り動作と密接に関連するターゲット IMF を特定することで、IMF の変化を検出することにより刈り取り作業員の動作状態を判定し、刈り取り作業の安全性向上を実現できる。本研究の結果は、関連する作業員注意力検知システムの開発に向けたデータ蓄積として活用できるほか、将来の刈り取り安全向上支援システム構築の根拠を提供するものとなる。

**専門用語：**

ヒルベルト・ファン変換（HHT）： モーションデータのような多チャンネルデータを非線形モードで時間 – 瞬時周波数の関係で見ることができる変更操作。