

## 論文内容の要旨

博士論文題目 脳波・脳活動に基づくプログラム理解の困難さ測定

氏名 中川 尊雄

本論文では、プログラミング学習者によるプログラム理解の難航度合い（理解困難度）を、脳波・脳活動により測定する手法を提案する。理解困難度の測定は、これまで、(1)理解対象であるプログラムの解析、(2)学習者の主観的な報告・アンケート、(3)学習者の脳波・脳活動・視線といった生体情報の解析、を通じて行われてきた。中でも、生体情報の解析に基づく測定は、プログラミング作業を阻害せず学習者の能力差にも左右されないことから、近年注目を集めている。ただし、その詳細な研究例は少なく、機械学習を用いても困難度の二値判別精度は6割程度であり、プログラム理解が困難となる原因が多様であっても測定可能かどうかも分かっていない。

提案手法では、プログラム理解が「記憶」、「言語」、「意味的統合」などの認知プロセスから構成されるとの知見に基づき、プログラム理解が難航する原因が、認知プロセスの酷使にあると仮定する。そのうえで、空間分解能やノイズ耐性に優れるとされている近赤外分光法(NIRS)を用いて前頭前野の活動を解析し、理解困難度を「記憶の酷使」の観点で測定する。更に、既存研究でも多用されている脳波解析を用いて、原因を異にする理解困難度の測定を実現する。これにより、プログラミングにおいて理解に難航する学習者に対して、必要な解決策の速やかな提示、また、必要であれば、学習課題の変更や休息の指示、が可能となる。

被験者 20 名に対する実証実験の結果、記憶の酷使が要求されるプログラム理解時には、前頭前野の活動が有意に活発化することが、NIRS を用いた解析により確認された。特に、学習者がプログラム理解に時間を要している、すなわち、理解に難航しているかどうかを、前頭前野の活動を解析することで判別できることが分かった。また、被験者 13 名を対象とした別の実証実験では、「記憶」や「言語」に関する認知機能が強く求められる学習課題において、プログラム理解に取り組む学習者の脳波に、特定の周波数成分が含まれることが確認された。以上の結果は、比較的安価で非侵襲な解析装置を用いても、プログラミング学習者がプログラム理解において困難に直面しているかどうかを判別可能であり、また、プログラム理解に求められる知的作業の種別特定にもつながるものである。提案手法は、プログラミング学習の効率化や負荷低減に大きく貢献することが期待される。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、プログラミング学習において、学習者がプログラム理解において困難に直面しているかどうか、その難航度合い（理解困難度）の測定法を確立することを目的としている。理解困難度の測定は、これまでも提案されており、特に、学習者の脳波・脳活動・視線といった生体情報の解析を通じた測定は、プログラミング作業を阻害せず、また、学習者の能力差（プログラミングや学習における個人差）にも左右されないとして注目されている。ただし、その測定精度や適用範囲に関する詳細な研究は少ない。これに対して、本論文では、プログラム理解が「記憶」、「言語」、「意味的統合」などの認知プロセスから構成されるとの知見に基づき、プログラム理解が難航する原因が、認知プロセスの酷使にあると仮定した上で、空間分解能やノイズ耐性に優れるとされている近赤外分光法(NIRS)による前頭前野の活動解析、及び、既存研究でも多用されている脳波解析を用いる具体的な手法を示している。

実証実験では、記憶の酷使が要求されるプログラム理解時には、前頭前野の活動が有意に活発化することが、NIRSを用いた解析により確認されている。特に、学習者がプログラム理解に難航していることを、前頭前野の活動を解析することで判別できるとしている。また、「記憶」や「言語」に関する認知機能が強く求められる学習課題において、プログラム理解に取り組む学習者の脳波に、特定の周波数成分が含まれることも確認されている。

以上のとおり、本論文は、比較的安価で非侵襲な装置で解析可能な前頭前野の活動や脳波によっても、プログラミング学習者がプログラム理解において困難に直面しているかどうかを判別可能であり、プログラム理解に求められる知的作業の種別特定にもつながることを実験的に示すものである。提案手法は、プログラミング学習の効率化や負荷低減への貢献はもちろん、ソフトウェア開発における工数超過や納期遅延といったリスクの回避、更には、ソフトウェア品質の向上にも資する大変重要な技術であり、当該領域の学術研究の発展にも大きく貢献することから、博士（工学）論文として価値あるものと認める。