

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：54601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24700038

研究課題名(和文) 不具合検出過程における視線移動に着目したマイクロプロセス分析

研究課題名(英文) Micro process analysis of eye movement during fault detection in software review

## 研究代表者

上野 秀剛 (Uwano, Hidetake)

奈良工業高等専門学校・その他部局等・講師

研究者番号：70550094

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的はソフトウェアレビューの効率を向上するための知見を明らかにすることである。1)視線計測によるプログラム読解過程の分析と、2)脳血流計測によるプログラム理解と脳活動の関係分析を行った。研究の結果、熟練者の視線移動を元に作成した、レビュー対象文書の具体的な読み順を作業者に指示することでバグ発見率が向上した。また、脳計測装置の1種であるNIRSを用いた実験の結果、少数の値の記憶や簡単な暗算では脳活動に変化が現れない一方で、if文による条件分岐の理解時には前頭極が活性化される可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to clarify the knowledge that improves software review performance. In the research period, 1) analysis of program reading process with eye movement recording and, 2) analysis of brain activity during program comprehension is performed. I defined the order of document reading at source code review based on expert's activity. The result of the research shows that fault detection rate of subjects' group who were instructed the reading order is significantly higher than the non-instructed group. Also the result of an experiment that analyze programmers' brain activity with NIRS shows that memorization of a few variables and simple mental calculation have no significant effect to brain activity; on the other hand, understanding of conditional branching activate the brain activity.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：不具合検出 マイクロプロセス 視線計測 脳血流計測

1. 研究開始当初の背景

ソフトウェア開発の現場においては、より高品質なソフトウェアを作ることが求められており、そのために開発者のスキル向上が重要であると言われている。2009年に経済産業省が行った組込みソフトウェア産業実態調査によると、ソフトウェアの品質向上のために必要なのは技術者のスキル向上と回答した経営者が最も多かった(33.3%)。また、2008年に情報処理推進機構(IPA)が行ったエンプライズ系の開発者を対象とした調査でも、開発現場の問題点として要員調達(66.3%)と開発者のスキル(64.2%)が最も多く回答されており、スキル向上のための支援が求められている。

開発者のスキルが大きく影響する作業の一つに、設計書やソースコードを精読することで誤りを検出するソフトウェアレビュー(以下ではレビューと呼ぶ)が上げられる。レビューの効果(どれだけ多く不具合を検出できるか)・効率(どれだけ短時間で不具合を検出できるか)は、開発者が用いる戦略や読み方によって大きく異なるため、レビュー戦略や手法に関する研究が数多く行われている。しかし、多くの研究結果は手法よりも個人差の影響が大きいことを示している。図1は文献[1]で行われた手法の比較実験の結果である。彼らの提案手法により、不具合検出率が8%程度高くなるのに対して、同じ手法を用いた被験者間で50%近い差があることを示している。

[1] Thelin, T., Runeson, P., and Wohlin, C.: "An Experimental Comparison of Usage-based and Checklist-based Reading," IEEE Trans. Software Engineering, Vol.29, No.8, pp.687-704 2003.

2. 研究の目的

(1) 視線計測によるプログラム読解過程の分析

本研究では、スキルの高いレビュー作業(レビューア)とスキルの低いレビューアで文書の読み方がどのように異なるか分析し、効率的なレビューのための知見を明らかにする。熟練者が持つ知見の多くは暗黙知であり、インタビューやアンケートからの分析は困難である。本研究では、各文書に対する視線を時系列に記録することで、熟練者に特有のパターンとレビュー性能の相関を分析する。視線計測は文書理解に関する研究などで盛んに用いられており、レビューの分析においても極めて有効な手段と考えられる。

研究代表者はこれまでの研究で、レビューアの視線の動きを行単位で計測するシステムを開発し、コードレビューにおける初心者と熟練者の違いを分析している[2]。実験の結果、熟練者は初心者と比べ、文書の全体構造を把握してから細部を読む傾向があることを明らかにしている。このような読み方は、

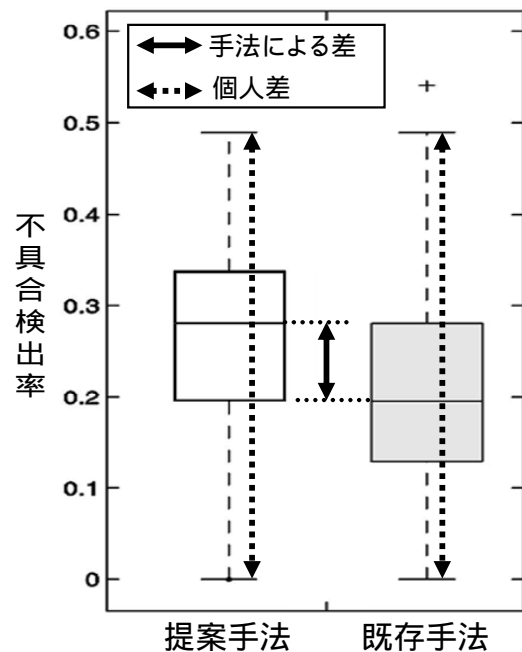


図1. 手法の差と個人差\*

\*文献[1]を参考に申請者が作成。

従来経験的に有効であると言われていたが、本研究によってデータに基づいた検証が行われた。

本研究では、これまでの研究をふまえ、レビュー対象文書(例えばソースコード)と参考となる文書(設計書や仕様書)をどのような順序で読むことで効率の良いレビューを行うことができるか分析する。従来提案されているレビュー手法は、読み方についての大きな方針しか示していない。そのため、具体的な手順が開発者のノウハウや知識に依存している点が問題であると研究代表者は考えている。本研究では各文書をどのように読むか、具体的な順序を考慮したレビュー指示を与え、その影響を分析することで効率的なレビューのための指針が明らかになると期待される。

(2) 脳血流計測によるプログラム理解と脳活動の関係分析

レビューはソースコードや設計書を読むことでプログラムの動作や処理手順を理解し、誤った処理や改善点を見つける作業である。プログラム理解は開発者の頭の中で行われるため、外部からの直接的・定量的な評価・分析が難しい。本研究では、人間が頭の中で行う認知活動を定量的に分析する方法として脳活動計測を用いることで、プログラムを理解する過程を既存の脳機能研究の結果を基礎として分析可能か実験する。

脳活動計測を利用することで、これまで直接的な分析が困難だったプログラム理解の過程を認知機能の観点から評価できると期待される。

[2] Uwano, H., Nakamura, M., Monden, A.,

and Matsumoto, K.: "Exploiting Eye Movements for Evaluating Reviewer's Performance in Software Review," IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E90-A, No.10, pp.317-328, 2007.

### 3. 研究の方法

#### (1) レビューにおけるプログラムの視線分析

本研究では視線計測装置を用いてレビュー中の開発者の視線を記録し、不具合の検出記録やレビュー時の操作記録と組み合わせることで、ソースコードや他のドキュメントをどのように読んでいるか分析する。図2に実験で計測した、実務経験者の視線移動を示すグラフの縦軸は要求仕様書や設計書、ソースコードの段落や関数といった複数の行からなるブロックを表している。本研究では従来の研究で明らかになっている、熟練者の読み方の特徴を元にソースコードと設計書の読む順序を具体的に被験者に指示し、作業効率がどのように変化するか、また、そのときの実際の読み方を分析する。分析においては、データマイニング手法のひとつである頻出パターン抽出法を用いて、読む順序を指示した被験者と指示しなかった被験者の差を分析する。

#### (2) NIRSを用いたプログラム理解過程における脳活動計測

プログラムを理解する際の脳活動を計測する方法として、本研究では近赤外線光を用いる NIRS(Near-Infrared Spectroscopy)を使用する。NIRS は他の脳発動計測装置と比べて、以下の特徴からプログラム理解の計測に適している。

- 装置が小型で軽いため、長時間の計測でも被験者への負荷が小さい

- 被験者の姿勢に対して拘束が少ない
- 電磁ノイズや体動によるノイズに比較的高い耐性を持つ

本研究では、作業記憶やエピソード記憶などの記憶機能への関連や、マルチタスクの処理への関連が示唆されている前頭極を計測対象とする。実験では作業記憶を対象にした N-Back 課題、暗算を対象にした暗算課題、および短いコード片を理解するプログラム課題の計 3 種類の課題を被験者に与える。

N-Back 課題は作業記憶に関わる脳機能局在を調べるためにもっともよく利用される実験パラダイムのひとつである。暗算課題は 3 種類の異なる難易度の暗算を行うタスクから構成される。プログラム理解に含まれる様々な数値計算が前頭極の活性化につながるかを計測する。プログラム課題では整数の和を求めるコード片(Num.)、計算結果が代入された変数の和を求めるコード片(Var.)、変数の値に応じて条件分岐するコード片(Cond.)の 3 種類を提示する。それぞれのコード片を理解するときの脳活動を比較することで、変数を理解することの影響、および、条件分岐を理解することの影響を分析する。

### 4. 研究成果

#### (1) レビューにおけるプログラムの視線分析

図 3 に読み方を指示した被験者グループと、指示していない被験者グループそれぞれの平均バグ発見率の推移を示す。図の横軸はレビュー開始からの経過時間を、縦軸はバグ発見率を表している。レビュー開始から 10 分までの間、指示有りは指示無しと比べてバグ発見率が低い。それ以降、10 分から 20 分までは両グループでバグ発見率に差は見

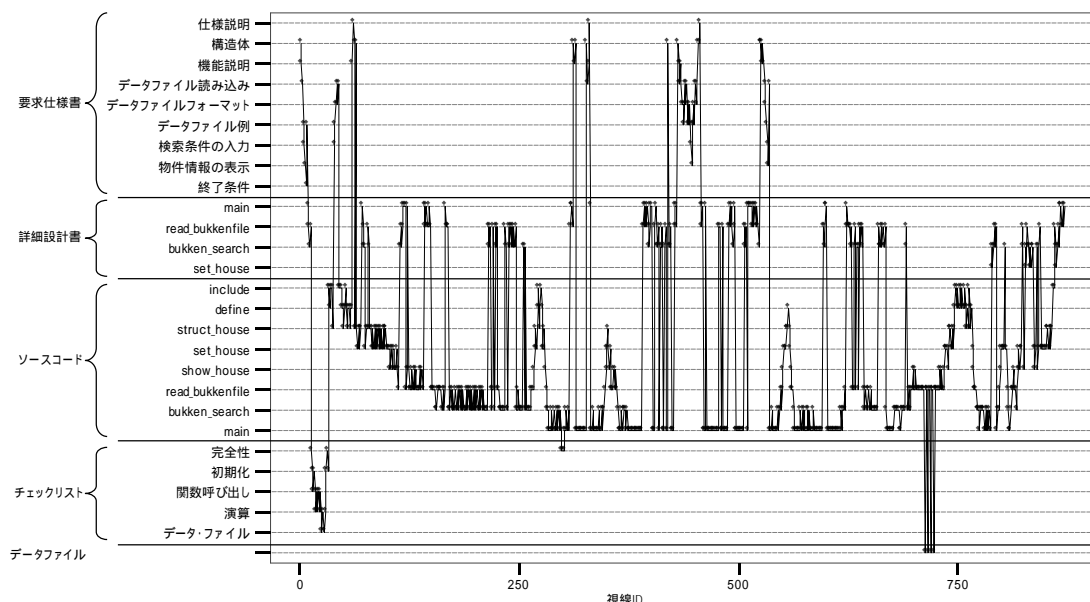


図 2. 熟練者の視線移動

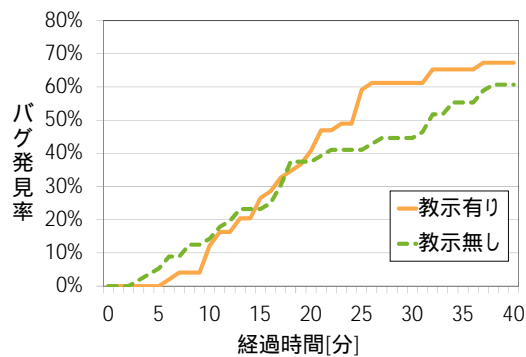


図3. バグ発見率の推移

られないが、20分以降では指示有りの方が指示無しに比べてバグ発見率が高く、レビュー開始後26分の時点で16.8%の差が見られた。また、この時点で指示有りとは指示無しのバグ発見率の差に対してWelchのt検定(両側検定)を行った結果、 $p < 0.05$ で有意な差が見られた。バグ発見率の差は作業開始30分経過時点で最大値17.1%となったが、この時点での有意差は見られなかった( $p = 0.073$ )。各被験者が指摘したバグの正否とその回数を分析した結果、読み方を指示したグループの精度が高くなっており、具体的な読み方を指示することでバグの指摘精度が高くなったことを示している。また、Prefix span法を用いた頻出パターン分析を行った結果、読み方を指示することで変数やメソッドが設計書で指定された通り使用されていることの確認や、変数やメソッドが実際に使用されているソースコード上の場所の確認を促進していることがわかった。

(2) NIRSを用いたプログラム理解過程における脳活動計測

N-Back課題の結果から少数の値を記憶する程度の記憶負荷では脳活動増加は現れないこと、また、暗算課題の結果から2つから3つの値の和を求めるような単純な暗算では前頭極の脳活動に変化が現れないことが確認された。

図4にプログラム課題における脳活動の時間変化を示す。プログラム課題では条件分岐を含むコード片を理解する時に、他のタスクと比べて有意に脳活動が活発になった。条件分岐タスクを解くためには、(a)3つの整数の和の暗算、(b)高々2つの変数の記憶、(c)if文による条件分岐の判断の3つの作業が必要になる。N-Back課題および暗算課題の結果から、条件分岐の理解時に前頭極が活性化される可能性が示唆された。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

幾谷 吉晴, 上野 秀剛, "ソースコード中の変数と条件分岐による脳活動の差," コンピュータソフトウェア, Vol.32, No.3, pp.84-90, 2015 (査読有り).

DOI: 10.11309/jssst.32.3\_84

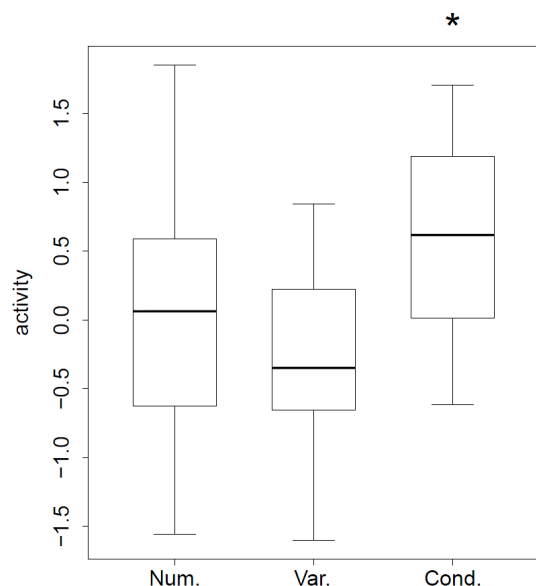


図4. プログラム課題の脳活動量

Yoshiharu Ikutani and Hidetake Uwano, "Brain Activity Measurement during Program Comprehension with NIRS," International Journal of Networked and Distributed Computing, Vol.2, No.4, pp.259-268, 2014 (査読有り). DOI:10.1109/SNPD.2014.6888727

中川 尊雄, 亀井 靖高, 上野 秀剛, 門田 暁人, 松本 健一, "プログラム理解の困難さの脳血流による計測の試み," コンピュータソフトウェア, Vol.31, No.3, pp.279-276, 2014 (査読有り). DOI: 10.11309/jssst.31.3\_270

[学会発表](計13件)

山本 愛子, 上野 秀剛, "脳波によるプログラム解法の見当がついた状態の識別," 第21回電子情報通信学会関西支部学生会, 2016/03.

幾谷 吉晴, 上野 秀剛, 中川 尊雄, "脳波計測を用いたプログラム理解タスクの判別," 第22回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE 2015), 2015/09.

應治 沙織, 上野 秀剛, "レビュー開始時における対象物の比較指示によるバグ発見率の向上," 電子情報通信学会 教育工学研究会, Vol.2015-01-ET, pp.1-6, 2015/01.

幾谷 吉晴, 上野 秀剛, "ソースコード中の変数と条件分岐による脳活動の差," 第21回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ, Vol.21, pp.5-14, 2014/12.

應治 沙織, 上野 秀剛, "コードレビュー時の読み方指示によるレビュー効率の向上," 情報処理学会研究報告 ソフトウェア工学

研究会, Vol.2014-SE-185, No.2, pp.1-8, 2014/07.

Takao Nakagawa, Yasutaka Kamei, Hidetake Uwano, Akito Monden, Ken-ichi Matsumoto, and Daniel M. German, "Quantifying Programmers Mental Workload during Program Comprehension Based on Cerebral Blood Flow Measurement: A Controlled Experiment," In 36th International Conference on Software Engineering (ICSE 2014), pp.448-451, 2014/06.

Yoshiharu Ikutani and Hidetake Uwano, "Brain Activity Measurement during Program Comprehension with Nirs," In 15th International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2014), 2014/06.

杉邑 洋樹, 上野 秀剛, "複数ソフトウェアに対する開発者の視線分析支援ツール," 情報処理学会研究報告. ソフトウェア工学研究会, Vol.2014, No.23, pp.1-6, 2014/03.

幾谷 吉晴, 上野 秀剛, "NIRS によるプログラム理解課題時の脳活動計測," 第 19 回電子情報通信学会関西支部学生会, pp.86, 2014/02.

應治 沙織, 上野 秀剛, "ソフトウェアレビューにおける読み方の教示によるレビュー効率の変化," 第 19 回電子情報通信学会関西支部学生会, pp.84, 2014/02.

中川 尊雄, 亀井 靖高, 上野 秀剛, 門田 暁人, 松本 健一, "脳血流計測に基づくプログラム理解行動の定量化," 第 20 回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ, Vol.20, pp.191-196, 2013/12.

杉邑 洋樹, 上野 秀剛, "視線情報に基づいたユーザインタフェースへの慣れの定量化," 情報処理学会研究報告. ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, Vol.2013, No.2, pp.1-8, 2013/05.

西口 絢人, 上野 秀剛, "不具合検出過程におけるサブゴールに着目した検出効率の比較," 第 19 回 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ, pp.245-246, 2012/12.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://uwanolab.jp/>

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

上野 秀剛 (UWANO, Hidetake)  
奈良工業高等専門学校・情報工学科・講師  
研究者番号 : 70550094