

## ソフトウェア信頼性モデルを応用した大学等における論文作成指導に関する研究

土井 崇 指導教員：奥田 隆史

## 1 はじめに

近年、企業や若者を取り巻く経済環境の変化により、「基礎学力」や「専門知識」に加え、それらをうまく活用していくための「社会人基礎力」を大学教育において意識的に教育することが重要となっている [1]。そこで本研究では、学生の社会人基礎力を教育する機会として、理工系学部の研究室でおこなわれる論文作成に注目する。大多数の研究室では、学生・教員間での共同での論文作成プロセスによって、ある水準以上の質を有する論文を作成している。この論文作成プロセスは、社会人基礎力を活用するプロセスであるため、教育の機会として適している。

この論文作成プロセスを社会人基礎力を教育する機会と捉えたときの問題点は、プロセス終了時間が、当該学生の論文作成・修正スキルや意欲等の個人差に強く左右されることである。そこで本研究では、学生の論文修正スキルが完成時間に与える影響を、ソフトウェア信頼度成長モデルを応用した確率モデルを用いて検討する。また本研究では、論文作成プロセス特有の現象を考慮することによって、より現実的なモデルとする。なお本研究では、確率モデルを用いた検討結果をもとに教員に論文作成プロセスの指標を提供することを目的とする。

## 2 論文作成プロセス

本節では、本研究で想定する論文作成プロセスとそのモデル化について述べる。

## 2.1 想定環境

本研究で想定する論文は、文章構成が定型かつ明確に構成される理科系文書や技術文書と呼ばれるものである [2]。そのため本研究では、想定論文の水準を満たしていない箇所を論文エラーであるとする。

本研究の論文作成プロセスは、まず学生が論文を作成し紙や電子ファイルの形式で教員に提出し、教員が学生作成論文の確認をおこない修正・不足箇所等の指摘をする。学生は指摘箇所はむろん指摘内容と類似した関連箇所を修正し、再度教員へ修正論文を提出する。この論文作成プロセスを確率モデルすると、提出される学生作成論文は学生の修正スキルに依存した修正数(エラー発見数)を持ち、論文がある一定水準となるまでこの論文作成プロセスを繰り返すことと表すことができる。

## 2.2 論文作成プロセスの評価モデル

本研究の論文作成プロセスモデルを図 1 に示す。

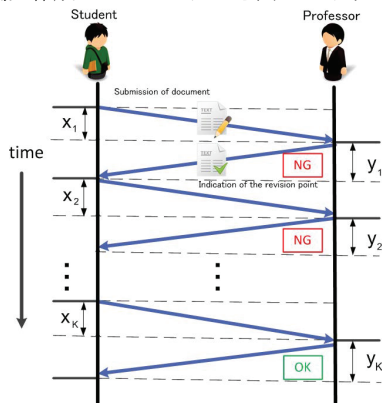


図 1 論文作成プロセスモデル

本研究の論文作成手順は、次の 1~3 とする。

1. 学生が作成した論文を、教員に  $i (1 \leq i \leq K)$  回目の提出をする。学生の  $i$  回目の論文作成時間  $x_i$  は、平均作成時間  $\mu_s^{-1}$  の指数分布に従う。
2. 論文は教員が確認をし、学生に対して適切な指導をおこない学生に論文を返却する。教員の  $i$  回目の論文確認時間  $y_i$  は、平均論文確認時間  $\mu_p^{-1}$  の指数分布に従う。
3. 学生は、学生の修正スキルに応じた修正を論文におこなう。論文がある一定水準となるまで、手順の 1~3 を繰り返す。

## 3 論文の修正数と学生の修正スキル

本研究では想定論文を、文章構成が定型かつ明確に構成されることから複数文章(コード)から構成されるソフトウェアのプログラムコードのように捉え、学生作成論文の修正数(エラー発見数)は、プログラムコードにおけるフォールト発見数に似た性質があるものとする。つまり論文の修正数を、ソフトウェアのフォールト発見事象を記述するソフトウェア信頼度成長モデルの NHPP(nonhomogeneous Poisson process) モデル [3] を利用して表現する。すなわち、学生の論文作成時間である時間区間  $(0, t]$  において  $n$  個の論文エラーが発見される確率関数は、

$$\Pr\{N(t) = n\} = \frac{\{H(t)\}^n}{n!} e^{-H(t)} \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

$$H(t) = \int_0^t h(x) dx \quad (t \geq 0), \quad (1)$$

に従うと仮定する。なお、 $\Pr\{\cdot\}$  は確率を表し、 $H(t)$  は時間区間  $(0, t]$  において発見される総期待エラー数、すなわち  $N(t)$  の期待値を表し NHPP モデルの平均値関数と呼ばれる。本研究では  $H(t)$  を学生の修正スキルとし、 $h(t)$  を学生の修正率とする。

本研究における学生の修正スキルの要素を図 2 に示す。

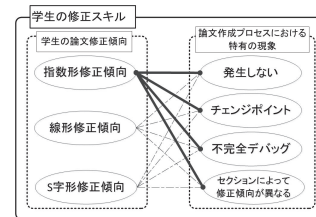


図 2 学生の修正スキルの要素

本研究の学生の修正スキルは、3 種類の学生の論文修正傾向と 4 種類の論文作成プロセスにおける特有の現象の、それぞれの要素の組合せによって構成される。組合せにより多数の修正スキルを考慮できるが紙面の都合上、指数形修正傾向を用いた 4 種類の論文作成プロセスにおける特有の現象を考慮した学生の修正スキルについて次に述べるに留める。

## 3.1 学生の論文修正傾向のみに従う場合

指数形修正傾向のみに従う場合の学生の修正スキル  $H(t)$  は、

$$H(t) = a(1 - e^{-bt}) \quad (2)$$

に従うと仮定する。なお、 $a$  は論文作成プロセスを開始する際に潜在していた論文エラー数、 $b$  は学生固有のパラメータである。

## 3.2 チェンジポイントが発生する場合

論文作成プロセスにおいてプロセス期間中に、学生の修正傾向が著しく変化する現象が発生することがある。本研究では、

プロセス期間中に学生の論文修正傾向が著しく変化する時刻をチェンジポイントと呼ぶとする [4].

本研究では、簡単化のために論文作成期間  $(0, T]$  を通じてチェンジポイントが 1 回発生すると仮定する. チェンジポイントが発生する論文提出の  $i$  回目を  $cp(1 \leq i \leq K)$ , チェンジポイントが発生する時刻を  $\tau(0 < \tau < t)$  とし, チェンジポイントを考慮した学生の修正スキル  $H(t)$  は,

$$H(t) = F_1(t)U_1(\tau - t) + \{F_1(\tau) + F_2(t - \tau)\}U_2(t - \tau) \quad (3)$$

に従うと仮定する. ここで,  $U_1(x)$  および  $U_2(x)$  はステップ関数を表し, それぞれ,

$$U_1(x) = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ 1 & (x \geq 0), \end{cases} \quad U_2(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq 0) \\ 1 & (x > 0), \end{cases} \quad (4)$$

である. また,  $F_1(t)$  はチェンジポイント発生前の学生の論文修正傾向を表し,  $F_2(t)$  はチェンジポイント発生後の学生の論文修正傾向を表す.

### 3.3 不完全デバッグが発生する場合

論文作成プロセスでは, 学生の論文修正に伴い新たな論文エラーが発生する可能性がある. 本研究において, 学生の論文修正に伴い新たな論文エラーが発生することを不完全デバッグと呼ぶとする [5]. また, その発生確率を論文エラー発生率  $\lambda$  とする. 不完全デバッグを考慮した学生の修正スキル  $H(t)$  は,

$$H(t) = \lambda t + a(1 - e^{-bt}) \quad (5)$$

に従うと仮定する. これは, 指数形修正傾向において単位時間あたりに論文エラーがランダムに発生することを表している.

### 3.4 セクションによって修正傾向が異なる場合

1 つの論文に対して論文のセクションごとに論文修正傾向が異なる場合を仮定する. また, セクションにより文章量が異なる場合や, 教員によって重要視するセクションが異なる場合を考慮し, セクションごとの論文エラーの総数を重要度  $p$  を用いて表現する [6]. セクションによって修正傾向が異なることを考慮した学生の修正スキル  $H(t)$  は,

$$H(t) = a \left[ \sum_{j=1}^m p_j (1 - e^{-b_j t}) \right] \quad (6)$$

に従うと仮定する. これは, 指数形修正傾向に従うセクションが  $m$  個あると仮定し, パラメータ  $p_j$  は  $j$  番目のセクションに対する重要度を表している.

## 4 数値例

修正スキルに対する平均総エラー発見数との関係を図 3~6 に示す. 平均総エラー発見数は 5 回の離散シミュレーション結果の平均である (乱数発生は離散事象シミュレーションパッケージ Csim20[7] を利用). なお, シミュレーションの条件は, 指数形修正傾向のみの場合において, それぞれ 730 日, 365 日, 180 日, 75 日で論文エラーが基準値以下となる  $\mu_s^{-1} = 4[\text{day}]$ ,  $\mu_p^{-1} = 1[\text{day}]$ ,  $a = 100$ ,  $b = \{0.01, 0.02, 0.04, 0.08\}$  と定めた.

チェンジポイントが発生する場合 ( $cp = 5, 10, 20$ ) において, チェンジポイント発生前後を  $b_1 = 0.01$  と  $b_2 = 0.04$  と定め, 不完全デバッグが発生する場合において  $\lambda = 0.5$  と定める. また, セクションによって修正傾向が異なる場合においてセクション 2 つにより構成される修正スキルを考慮し, ( $p_1 = 0.1$ ,  $p_2 = 0.9$ ) の場合に加えて, ( $p_1 = 0.9$ ,  $p_2 = 0.1$ ) の場合と, 重みが均一とする ( $p_1 = 0.5$ ,  $p_2 = 0.5$ ) の場合の 3 通りを検討する.

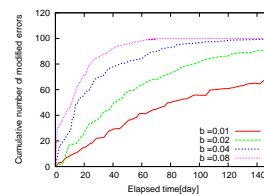


図 3 指数形修正傾向のみ

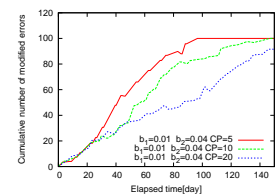


図 4 チェンジポイントの発生

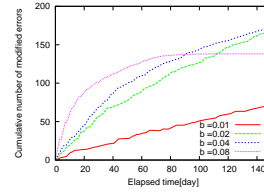


図 5 不完全デバッグの発生

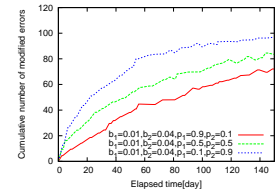


図 6 セクションによって修正傾向が異なる場合

## 5 検討・考察：論文作成指導への活用

指数形修正傾向の場合は図 3 より, エラー発見数が増加するのは速いが時間とともにエラー発見数が減少することが分かる. そのため, エラー発見数が減少してから一定量の修正を促進するような指導が必要となる.

チェンジポイントが発生する場合は図 4 より, 論文提出期限直前にチェンジポイントが発生し, 学生の修正率が向上したとしても論文エラーがすべて発見できるとは限らないことが分かる.

不完全デバッグが発生する場合は図 5 より, 時間経過によって論文エラーが増加するため, プロセス終了を予測することが困難である. そのため, 新規の論文エラーが発生しないような指導が必要となる.

セクションによって修正傾向が異なる場合は図 6 より, 学生が得意なセクションの重要度が高いと論文作成プロセスが短期間になると分かる. また逆に, 学生が不得意なセクションの重要度が高いと論文作成プロセスが長期間となる.

## 6 おわりに

本研究では, 学生が論文作成をおこなう機会を能動的な学習として捉え, ソフトウェア信頼度成長モデルを応用したモデルを構築し, 論文作成プロセスにおける学生の修正スキルを表現した. また, 論文作成プロセスにおける特有の現象を考慮することで, より現実的なモデルとし, シミュレーションにより論文作成指導手法についての検討もおこなった.

今後の課題として, 学生の修正スキルを推定する手法の提案や論文エラーの総数を推定する手法の提案などが挙げられる.

## 参考文献

- [1] 「社会人基礎力」とは - 経済産業省, [http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/kisoryoku\\_image.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/kisoryoku_image.pdf).
- [2] 木下是雄, 『理科系の作文技術』, 中公新書, 1981.
- [3] 山田茂, 『ソフトウェア信頼性の基礎 - モデリングアプローチ』, 共立出版, 東京, 2011.
- [4] 井上真二, 山田茂, “テスト工程におけるチェンジポイントとソフトウェア信頼性評価モデルに関する一考察”, 情報処理学会研究報告. ソフトウェア工学研究会報告, vol. 158, no.8, pp.55-62, 2007.
- [5] 山田茂, “潜入フォールトを考慮した不完全デバッグモデルと適合性評価”, 情報処理学会論文誌, vol.39, no.1, pp.102-110, 1998.
- [6] 山田茂, 田村慶信, 木村光宏, “分散開発環境を考慮したソフトウェア信頼度成長モデルに関する考察”, 電子情報通信学会論文誌 vol. J82-A, no.9, pp.1446-1453, 1999.
- [7] Mesquite Software, <http://www.mesquite.com>.