

## ソフトウェアのテスト進捗度・信頼性評価のための確率モデル

02101865 鳥取大学 \*木村光宏 KIMURA Mitsuhiro  
01702425 鳥取大学 山田茂 YAMADA Shigeru

## 1 背景と目的

大規模なソフトウェア開発工程では、特にその最終段階であるテスト工程において多くの開発資源が消費されるため、テスト工程の進捗状況を何らかの尺度により把握することが開発管理上重要である [1]。そこで本研究では、テスト工程において観測されるテスト項目数の消化過程に着目し、死滅過程 (death process) [2, 3] を適用することにより、定量的なテスト進捗度評価尺度を導出する。また実測データを適用した適用例を示し、本モデルの有用性について考察する。

## 2 モデルの記述

テスト工程の最終段階では、一般に、あらかじめ準備された  $K$  個のテスト項目について、それが要求仕様定義通りに動作するか否かの検査が行われる。要求仕様定義通りの動作を行った場合、そのテスト項目は合格とされ、そうでない場合にはソフトウェア内にフォールト (欠陥) が存在していることとなり、その発見・修正が行われる。今、テスト時刻  $t$  において、テスト未完了となっているテスト項目数を確率変数  $X(t)$  を用いて表すことにすると、以下の仮定の下で、計数過程 (counting process)  $\{X(t), t \geq 0\}$  は死滅過程を用いて記述することができる。

$$(a) \Pr[X(t + \Delta t) = x - 1 | X(t) = x] = \phi(t)\Delta t + o(\Delta t),$$

$$(b) \Pr[X(t) - X(t + \Delta t) \geq 2] = o(\Delta t),$$

$$(c) \Pr[X(0) = K] = 1 \quad (K \text{ は正整数}),$$

$$(d) \{X(t), t \geq 0\} \text{ は独立増分をもつ。}$$

ここで、 $\Pr[\cdot]$  は確率を表し、 $\phi(t)$  は時刻  $t$  におけるテスト項目の消化率を表す。仮定 (a)~(d) により、テスト時刻  $t$  において未消化のテスト項目が  $n$  個である確率は、

$$\begin{aligned} \Pr[X(t) = n] &= \frac{\{G(t)\}^{K-n}}{(K-n)!} e^{-G(t)} \quad (n = 1, 2, \dots, K), (1) \\ \Pr[X(t) = 0] &= \sum_{n=K}^{\infty} \frac{\{G(t)\}^n}{n!} e^{-G(t)}, \\ G(t) &= \int_0^t \phi(x) dx \quad (t \geq 0), \end{aligned} \quad (2)$$

となる。テスト工程においては、1 個のテストを完了する確率は時間の経過とともに増加し、テスト時間との間に対数線形性の関係があることが経験的に知られている [4]。そこで  $\phi(t)$  の関数形を

$$\phi(t) = \lambda m t^{m-1} \quad (\lambda > 0, m > 0), \quad (3)$$

と仮定すれば、 $G(t)$  の関数形として

$$G(t) = \lambda t^m, \quad (4)$$

を得る。また、式 (4) に含まれる未知パラメータ  $\lambda$  および  $m$  は、最尤法により推定することができる。

## 3 テスト進捗度評価尺度

## 3.1 平均消化テスト項目数

テスト工程の進捗管理等を行う場合の有用な尺度として、平均消化テスト項目数を導出する。 $X(t)$  が時刻  $t$  において未消化のテスト項目数であるので、テスト時刻  $t$  までに消化されたテスト項目数の期待値は、

$$\begin{aligned} E[K - X(t)] &= K - E[X(t)] \\ &= K \left\{ 1 - \frac{\Gamma(K, G(t))}{\Gamma(K, 0)} \right\} + G(t) \frac{\Gamma(K-1, G(t))}{\Gamma(K-1, 0)}, \end{aligned} \quad (5)$$

となる。ここで、

$$\Gamma(a, b) = \int_b^{\infty} e^{-x} x^{a-1} dx, \quad (6)$$

である。

## 3.2 平均テスト完了時間

あらかじめ準備された  $K$  個のテスト項目が、テスト時間  $t$  までに全て消化される確率の分布関数を  $B(t)$  とすると、

$$\begin{aligned} B(t) &= e^{-G(t)} \sum_{n=K}^{\infty} \frac{G(t)^n}{n!} \\ &= \int_0^t \frac{\phi(x) G(x)^{K-1}}{(K-1)!} e^{-G(x)} dx, \end{aligned} \quad (7)$$

であることから、 $T$  の期待値は

$$\begin{aligned} E[T] &= \int_0^{\infty} t dB(t) \\ &= \int_0^{\infty} t \frac{\phi(t) G(t)^{K-1}}{(K-1)!} e^{-G(t)} dt, \end{aligned} \quad (8)$$

となる。これに式 (6) を用いると、結局

$$E[T] = \frac{\Gamma(K + \frac{1}{m}, 0)}{\Gamma(K, 0)} \left( \frac{1}{\lambda} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (9)$$

となる。

## 4 適用例

本節では、実際のテスト工程において観測されたデータを適用しテスト進捗度評価例を示す。ここで用いたデータは、本研究で着目した量であるテスト時刻  $t$  およびその時点における未完了テスト項目数  $y$  に加えて、発見された累積フォールト数  $z$  が観測されている。

$(t_i, y_i, z_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, 19$ ) —  $t_i$  の単位は日。高水準言語を用いて作成されたソフトウェアモジュールの単体テストから採取されたものであり  $K = 11855$  である。以下、DS-1 と呼ぶ。

$(t_i, y_i, z_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, 20$ ) —  $t_i$  の単位は日。文献 [5] により紹介されたデータであり、 $K = 5964$  である。以下 DS-2 と呼ぶ。

まず、DS-1 の  $t = t_9 = 59$  日の時点までに得られたデータを用いて未知パラメータ  $\lambda$  および  $m$  を推定した。この結果を用いて式 (5) で与えられるテスト時刻  $t$  における平均消化テスト項目数  $E[K - X(t)]$  と実測値を図 1 に示す。この図において、白抜きで表されている各点は、平均消化テスト項目数の予測値に対する実現値を表しているが、このデータに対してははかかなり適合性は良いと言えよう。また、 $E[K - X(t)]$  は  $t = 70$  付近において不連続となっているように見えるが、実際には連続である。これは確率過程  $\{X(t), t \geq 0\}$  の状態空間が  $0 \leq X(t) \leq K$  の有限状態であるため、このような挙動を示す。

同様に DS-2 についても平均消化テスト項目数に関する推定および予測を行った。すなわち、テスト時刻  $t = t_{10} = 71$ 、 $t_{15} = 106$ 、および  $t_{20} = 141$  の 3 つの時点において未知パラメータを推定し、それぞれ図 2 (A) から図 2 (C) に示す。図 2 (A) はテスト工程の中盤における推定結果であり、図中右半分に示される、テスト後半に対する予測を表す部分では実際よりも早くテスト項目数が消化されるという楽観的予測となっている。これに対して図 2 (B) および (C) では消化項目数の将来予測に関しては悲観的な結果を得た。

また、DS-2 はテスト開始前にあらかじめ準備されていたテスト項目数が  $K = 5964$  個であった、すなわち、実際のテスト工程においては 443 個のテスト項目が未消化のまま、次工程に移行したことを表している ( $K - y_{20} = 443$ )。これに対しては、式 (9) により与えられる平均テスト完了時間  $E[T]$  を用いることにより、推定時点において残りのテスト項目をすべて消化できる時間を予測することができる。図 3 に DS-2 による結果を示す。これによると、実際のテストが終了した (打ち切られた) 時点 ( $t = t_{20} = 141$  日) では、テスト時間を約 10 日追加すれば残された 443 個のテスト項目が消化できたという予測になる。

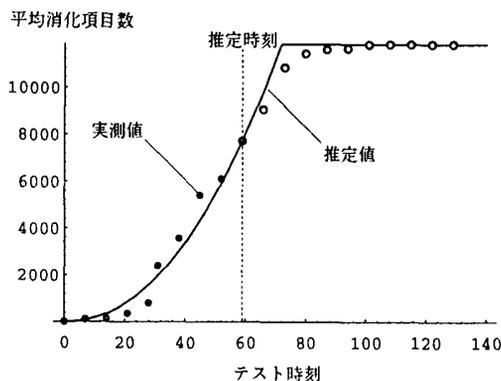


図 1. 平均消化テスト項目数の推定結果 (DS-1)

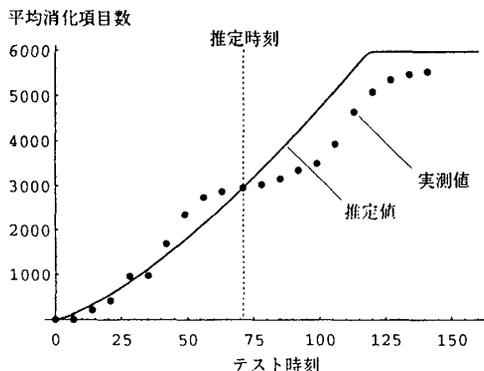


図 2 (A). 平均消化テスト項目数の推定結果 (DS-2,  $t = t_{10}$ )

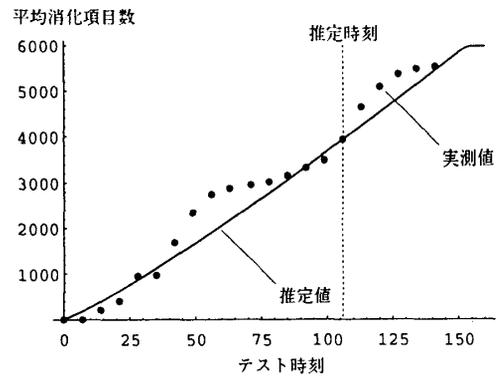


図 2 (B). 平均消化テスト項目数の推定結果 2 (DS-2,  $t = t_{15}$ )

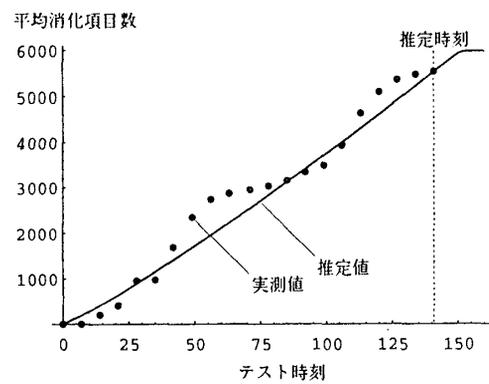


図 2 (C). 平均消化テスト項目数の推定結果 3 (DS-2,  $t = t_{20}$ )

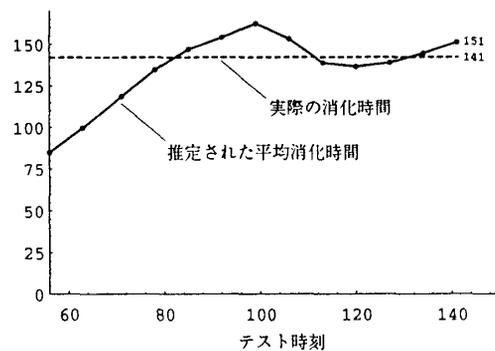


図 3. 平均テスト完了時間 (DS-2)

## 参考文献

- [1] 菅野文友 (監修), 「ソフトウェア・プロジェクト管理 (上)」, ソフト・リサーチ・センター, 東京 (1991).
- [2] 山田茂, 大寺浩志, 「ソフトウェアの信頼性～理論と実践的应用～」, ソフト・リサーチ・センター, 東京 (1990).
- [3] S. M. Ross, *Stochastic Processes*, John Wiley & Sons, New York (1983).
- [4] 森洋之, 「工程能力モデルを用いたトップダウン SWQC による目標品質の達成」, NEC 技報, Vol. 44, No. 12, pp. 9-15 (1991).
- [5] 芝田寛二, 「ソフトウェア製品の生産計画と工程管理」, 情報処理, Vol. 21, No. 10, pp. 1035-1042 (1980).
- [6] 山田茂, 「ソフトウェア信頼性モデル-基礎と応用」, 日科技連出版社, 東京 (1994).