

一回の成功情報がもたらす信頼度の向上 技術研究報告形式

原 宣一† 富田 信之‡

† 宇宙開発事業団

〒105-8060 東京都港区浜松町 2-4-1

‡ 武蔵工業大学

〒105-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1

: †hara-norikazu@gakushikai.jp, ‡ntomita@eng.musashi-tech.ac.jp

あらまし 信頼度における確率に確信の度合い定義を採用し、ラプラスの連続則を元にして1回成功したという情報を得た後の信頼度を求めた。試験や実運用で失敗があった場合には必ず原因を究明し、その失敗要因を除くことを条件にする。成功したというだけのこの最少情報による信頼度の向上は事前の信頼度に大きく依存する。殆ど成功がおぼつかない事前の信頼度が0に近い状態であった場合は、一度の成功情報でも事後信頼度は0.5以上に向上する。なお、失敗要因を取り除けなかった場合に一回の失敗情報がどの程度信頼度を下げるかについても求めた。

キーワード 信頼度, ラプラス, 連続則, 改善, 事前と事後

Improved Reliability Lead by Information of a Success The format of Technical Report

Norikazu HARA†, and Nobuyuki TOMITA‡

† National Space Development Agency of Japan

Hamamatsu-cho 2-4-1, Minato-ku, Tokyo, 105-8060 Japan

‡ Musashi Institute of Technology

Tamazutsumi 1-28-1, Setagaya-ku, 158-8557 Japan

E-mail: †hara-norikazu@gakushikai.jp, ‡ntomita@eng.musashi-tech.ac.jp

Abstract Adopting the definition of probability as the degree of belief, an equation for the improved reliability lead by only information of a success was derived using Laplace's Rule of Succession. The improvement of reliability by the minimum information greatly depends on the prior reliability we have. If it is almost zero reliability where we cannot expect its success at all, then the information of only a success leads to us the improved reliability of more than 0.5 as the posterior reliability.

Key words Reliability, Laplace, Rule of Succession, improve, prior and posterior

1. まえがき

ロケットや衛星の大がかりなシステムは、コンポーネント・レベルから、各種の試験を重ね、これらが上手くいくことにより、徐々に開発成功に対する確信が強まる。もし、試験で失敗を経験するか、他プロジェクトでの実運用における失敗情報を得ると、逆に開発成功の確信は弱まる。従って、このような場合、必ずその原因を調査し、除去することが不可欠になっている。

試験や実運用での成功を積み重ねると、徐々にそのコンポーネントやシステムの信頼度は上がってくる。このような信頼度の向上に関して、古くから信頼度成長曲線の考え方が提示されている[1]。

しかし、一回の成功情報がどのように信頼度を向上させるのかについて、必ずしも明確な論拠は示されていない。つまり、部品の故障率からボトムアップ的に積み上げた信頼度予測があっても、この予測にシステム試験結果を反映する方法がなかった。成否情報は信頼度予測が当たっていたかどうかの判断に使われることに留まっていた。

試験または実運用での成功数が増すに連れ信頼性が高まることは疑問の余地がない。定量的にどの程度信頼度が高まるのを知りたいことである。議論を簡明にするため、失敗の時は必ず失敗原因を除去することを前提にし、この条件下で、一回の成功情報がもたらす信頼度の向上を、具体的な数値で求めることを試みる。

2. ラプラスの連続則

確率の定義としては、その元来の意味である[2]確からしさという主観的な観念を数値化したものに戻り、「命題が真であることに対する確信の度合いである」を、採用する[3] [4]、[5]。この定義と日本工業規格の JIS Z8115 で定義される信頼度を組み合わせると、信頼度は「アイテムが与えられた条件で、規定の期間中、要求された機能を果たす（ことに対する）確信の度合いである」ことになる。つまり、信頼度はアイテムの属性ではなく、人間がそのアイテムに対して抱く心の状態となる。

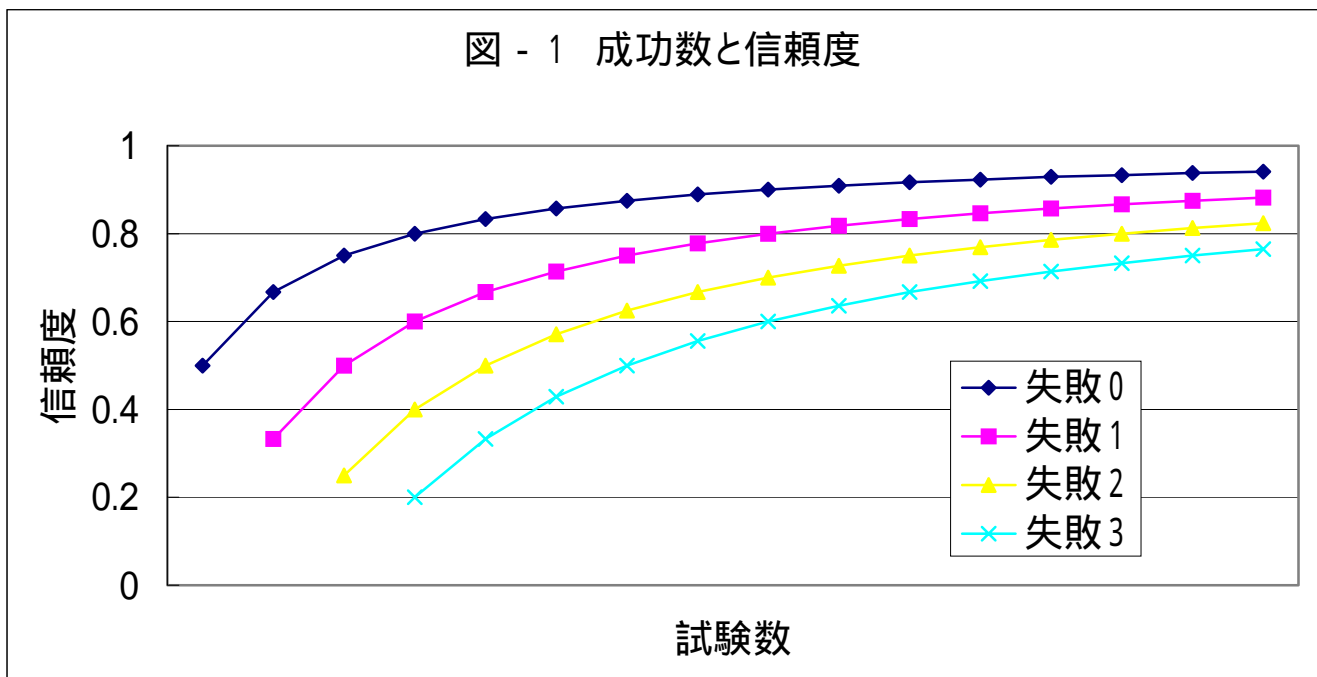
確率を決める第一歩は、当該命題に関連した事象の取りうる状態の数を調べることである。

次に、これらの状態に関して全く情報がない場合には等確率の原理を採用する。つまり、取りうる状態がN通りあって、特にどの状態が生じやすいという情報が無ければN通りのおおのがどれも確率、 $1/N$ で発生すると（人間が）みなすことである。

取りうる状態が、成功か失敗の二つに限られる試験で、当初何も情報が無い場合は、等確率の原理から確率 0.5 を割り当てる。この試験をn回繰り返した時、試験数nとそのうちの成功数rを見た後では、成功確率Pは当初の 0.5 から、ラプラスの連続則と呼ばれる式（1）で与えられる値に変化する[5] [6] [7]。

$$P = \frac{r+1}{n+2} \quad \dots (1)$$

図 - 1 成功数と信頼度



この式を用いて、失敗回 0～3 の場合の信頼度と試験数との関係を計算した結果を図-1 に示す。一つの失敗があるとその後成功を続けても成功確率 $\{\text{信頼度}\}$ はなかなか上がらないことが判る。一方、信頼度が 0.999 であると言うためには失敗無しに成功を約 1000 回は見てはじめて言える事であることも判る。

3. 失敗原因を除去する場合の考え方

実際に失敗を経験すればその原因を究明し、処置対策を取る。つまり、失敗を経験するとその原因は取り除くことにより、信頼度が下がることを防ぐことが出来る。

この場合の信頼度の評価方法は、失敗が無かったものとみなすことである。従って、失敗原因を取り除く場合は、図-1 において失敗 0 の曲線上に沿ってのみ信頼度が上がるとみなすことが出来る。失敗した試験は試験回数 n のカウントにも入れない。このようにして、常に成功数 r は試験数 n に等しい状態を保てる。

この条件での成功確率 P は式 (2) で表される。

$$P = \frac{n+1}{n+2} \quad \text{又は、} \quad P = \frac{r+1}{r+2} \quad \dots (2)$$

4. 事前の信頼度の割り当て方

あるシステムの成否に対する信頼度は、これに関する情報が全くない時は 0.5 であった。もし、そのシステムがサブシステム A と B の直列系で構成されており、両方が同時に成功して始めてシステムが成功となる場合を考察する。

システムの信頼度は R であるとする、 $R = R_A \times R_B$ である。サブシステム A と B に関する情報が無いとき成否に対する信頼度は等確率の原理からそれぞれ 0.5 を割り当てることになる。するとシステムの成功に対し、信頼度は 0.25 になってしまう。

これは一見不合理なようにも見える。しかし、複雑なシステムほど成功は難しいので当然であるとも言える。実際は、A と B に関しての情報が無い場合

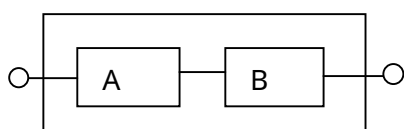


図 - 2 システムの信頼度ブロック

でも A と B が独立であることは少ないため 0.25 まで低くなることは無いのである。

信頼度は 0.25 まで悲観的でなくとも、0.5 のままでは過大評価と言えるであろう。しかし、残念ながら独立性を推し量る適切な手段は見つかっていない。

ある国が火星探査などの極めて難しいミッションにチャレンジするとの情報を得ただけでは、その他の情報を持たない他国の第三者には、その成功に対する信頼度は 0 に近いと見るのが妥当であり得る。

一方、開発の当事者は設計、開発試験、品質管理の行き届いた製造、検査等を通じて初回品であっても、0.5 より大きな数値の信頼度であることを示せるであろう。事前の信頼度は、関連情報の有無によって全く異なる。

5. 事前の信頼度から 1 回の成功を見た後の信頼度の向上

事前の信頼度が R_0 であったものとする。これは式 (2) から逆に n を求めた式 (3) で決まる n 回の成功を見たことと等価である。ここで、等価的な個数と考えれば、 n は整数にならなくても構わない。

$$n = \frac{2R_0 - 1}{1 - R_0} \quad \dots (3)$$

従って、1 回の成功を見ると式 (3) の n に 1 を加えて式 (2) に入れると、事後の信頼度 R_1 が式 (4) で得られる。

$$R_1 = \frac{1}{2 - R_0} \quad \dots (4)$$

式 (4) は図 - 3 で示される。図 - 3 で 1 回の成功を見ると上の曲線で示されるところまで信頼度が上がる。事前の信頼度が十分高ければ 1 回の成功を見ても信頼度の向上は僅かなものであるが、逆に事前の信頼度が低ければ 1 回の成功がかなりの信頼度向上に寄与することが判る。

極めて難しいミッションにトライするものであって、事前の信頼度は 0 に近いものであったとしても、1 回の成功を見た後では 0.5 までは上がることが判る。

続けて n 回成功を見た後の信頼度は、1 回毎に式 (4) を適用し、結局 n 回繰り返して得られる。

参考までに、事前の信頼度が R_0 であって、失敗し

たにも関わらず故障原因が特定できずに対策が取れなかった場合の信頼度について調べてみる。この場合、信頼度は式(5)で示す R_1 に低下する。

$$R_1 = \frac{R_0}{2 - R_0} \quad \dots (5)$$

6. あとがき

試験または実運用で失敗があっても、必ずその原因を除去出来る場合で、事前の信頼度が R_0 の場合に一回の成功を経験した後のシステムの信頼度 R_1 を求める式(4)を導いた。

また、参考までに失敗原因を除去出来なかった場合に、その失敗により低下したシステムの信頼度を求める式(5)を導いた。

事前の信頼度には従来の信頼度予測が使えるであろう。しかし、これまで分布を仮定して確率を計算することが普通に行われてきたが、この場合 100 個

ぐらいのデータから例えば正規分布を仮定して、3、4 領域の小さい確率を云々するのであれば、最初から答えを仮定したもと変わらないことに注意する必要があるだろう。

文 献

- [1] 塩見弘、信頼性工学入門、改訂二版、丸善、1972
- [2] 近藤次郎、応用確率論、日科技連、1970
- [3] D.V.リンドレー、確率統計入門 1、＜ベイズの方法による＞確率、竹内啓、新家健精、共訳、培風館、1968
- [4] D.V.リンドレー、確率統計入門 2、＜ベイズの方法による＞統計、竹内啓、新家健精、共訳、培風館、1969
- [5] 原宣一、「少数の属性試験結果から得られる確信の度合い」、REAJ 第 14 回信頼性シンポジウム、7-1、pp769-772、2001 年。
- [6] Bruno de Finetti, THEORY OF PROBABILITY Vol. 2, John Wiley & Sons, 1977
- [7] E.T. Jaynes, Probability Theory: The Logic of Science, 1993, <http://omega.albany.edu:8008/JaynesBook.html>

図 - 3 1 回の成功を見て向上する信頼度

