



# ベイズ論に基づく寿命試験とシステム信頼性の解析・設計

三道, 弘明

---

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1983-03-31

(Date of Publication)

2008-04-02

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0398

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000398>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍) <sup>さん</sup>三 <sup>どう</sup>道 <sup>ひろ</sup>弘 <sup>あき</sup>明 (岡山県)  
 学位の種類 学 術 博 士  
 学位記番号 学博い第14号  
 学位授与の要件 学位規則第5条第1項該当  
 学位授与の日付 昭和58年3月31日  
 学位論文題目 ベイズ論に基づく寿命試験とシステム信頼性の解析・設計

審 査 委 員 主査 教授 瀬 口 靖 幸  
 教授 前 川 禎 男 教授 中 川 隆 夫

### 論 文 内 容 の 要 旨

近年、急速な技術進歩に伴い、システムや装置（ハードウェア、ソフトウェア）に課せられる任務が質的に高度化し、量的に大規模複雑化している。このため、関連部分の故障で全体の機能が停止する危険性が大きくなった。その上、故障による機能低下に伴う損失も増大した。このような背景のもとに、システムや装置、さらにそれを構成する部品の信頼性が重視されるようになり、信頼性工学の分野における研究・開発が推し進められてきた。

そこで行われるシステムの信頼性解析・設計の手順を大局的に把えたと次のようになる。まず、システムを、それを構成するいくつかのサブシステムや部品に分割し、個々のサブシステムや部品に関する信頼性解析を行う。次いで、その解析結果を総括し、システムの信頼性解析設計を行う。

部品に関する信頼性解析や、システムの信頼性解析・設計において、ベイズ論的方法の採用により、経験豊富な技術者の過去の経験等に基づく専門的知識を始めとする事前情報の有効利用が可能となる。このため、信頼性工学の分野において、ベイズ論的方法の研究・開発が最近とみに注目されてきている。しかし、信頼性工学におけるベイズ論的方法が確立されたと言えるまでには至っていない。

本研究は、信頼性工学の分野におけるベイズ論的方法の確立に寄与することを意図し、

- i) 寿命試験データに基づく部品の信頼性解析
- ii) 寿命試験計画
- iii) システムの信頼性評価

#### iv) システムの保全計画

における諸問題に対し、ベイズ論の立場より総合的に考察し、解決を試みた。本論文は、これらの研究で得られた主な成果を以下の6章にまとめたものである。

第1章の緒論においては、本研究に対する歴史的背景と意義を述べた。

第2章では、部品に関する信頼性解析のための中途打ち切りデータを含む寿命試験データに対し、事後分布に基づいた分布パラメータに関する推論の方法と、予測分布に基づく信頼性指標の推定法より成るベイズ解析法を確立した。さらに、信頼性工学において中広く利用されるワイブル、極値、指数(対数)正規分布に対しBox and Tiao の考え方に基づく非情報的事前分布を仮定した場合の事後分布、予測分布の導出を試みた。また、2パラメータワイブル、対数正規分布に対しては、各々の標準形を用いたシミュレーションを行い、ベイズ解析法によって得られる寿命下限推定値の特性に関する考察を行った。その結果、次の知見を得た。

- i) 2パラメータワイブル分布に対する寿命下限推定値は、試料数  $n$  が小さい場合に、安全側の値をとる傾向があり、打ち切り時間  $X_0$  を大きくするにつれて、この傾向は弱くなる。 $n$  を大きくすると、この傾向は見られなくなり、打ち切り時間はほとんど影響しなくなる。
- ii) 対数正規分布に対する寿命下限推定値は安全側の値をとる傾向があり、 $n$  及び  $X_0$  が小さい場合にこの傾向は強い。また、 $n$  または  $X_0$  を大きくするとこの傾向は弱くなる。

第3章においては、金属材料等の寿命試験に対し、一般の寿命分布を仮定して、事前情報に基づく最適時間打ち切り寿命試験計画の費用モデルを定式化した。そこでは、試験装置使用費用や試験料費用の試験に対する直接費用ばかりでなく、間接費用として、寿命下限推定値の推定誤差による損失費用をも考慮した総費用を用い、各要素費用の定式化を行った。また、位置・尺度パラメータ族に対し、費用モデルの評価法を明らかにし、最適試料数と最適打ち切り時間を与える寿命試験計画の探索手順を示した。さらに、対数正規、2パラメータワイブル分布に対しては、費用モデルの便宜的評価法を与えた。

第4章では、システムの信頼性評価に対し、予測分布に基づく評価法を提示し、指数分布に従う寿命をもつ要素より成る直列系、並列系、 $k$  out of  $l$  系の基本システムに加え、待機冗長システムに対する予測分布を示した。特に、待機冗長システムにおいては、故障検出切替えスイッチの信頼性をも考慮した場合の予測分布を導出した。また、スイッチの信頼性解析法も与えた。

第5章においては、システムに対する予防保全計画において、構成要素の故障確率分布に含まれる分布パラメータに関する不確実性を考慮した計画法を確立した。そこでは、一定の故障率をもつ要素より成る直列系に対し、ブロック取替え方策を適用した場合の費用関数を事前情報に基づいて定式化した。なお、費用関数は、事後保全、予防保全の実施に必要な費用ばかりでなく、要素の摩耗や劣化による機能低下防止に要する調整費用をも考慮した一般的なものである。さらに、予防保全計画の実施過程において入手可能なフィールドデータの有効利用法を明らかにし、予防保全時期を逐次的に更新する予防保全計画法を示した。また、本手法を適用した場合の計画に対する漸近的性質を明らかにし、その有効性を示した。

第6章の結論では、本研究で得られた主な成果を総括し、要約した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、システムの信頼性解析および設計手法を基礎データの収集・解析から信頼性設計に到る流れの中において把え、各段階で先験的に与えられる情報の不確実性を考慮した方法論に関する研究をまとめたものである。その成果を要約すると次のとおりである。

- (1) 信頼性解析・設計の基礎となる寿命試験データの解析法についてベイズ統計学に基づく方法を与えている。寿命分布としては、2, 3パラメータワイブル分布、(対数)正規分布、指数分布、極値分布等幅広い理論分布を取扱っており、各分布パラメータに関する非情報的事前分布を導いている。ここで示された解析法は完全寿命データばかりでなく中途打ち切り寿命データに対しても適用可能なものでありデータ解析法として実用性の高いものである。
- (2) 信頼性解析・設計の基礎データの収集のために実施される寿命試験の計画を得られたデータの解析結果を実用に供する際に生ずる損失を考慮に入れて、立案する方法を与えている。これによって従来経験的に定められてきた試験計画を定量的に評価することを可能としている。
- (3) 直列系、並列系、k out of l 系、待機冗長系等の基本的なシステム構成をもつシステムの信頼性を構成要素の寿命分布パラメータ値の不確実性を考慮して解析する方法を与えている。また、寿命分布が指数分布に従う場合の各システムの寿命分布を予測分布として定式化することにより、信頼性設計の基礎を与えている。
- (4) 設計時に計画したシステムの信頼性を運用段階で維持するための予防保全計画法について考察し、限られた信頼性データのもつ不確実性を計画立案に反映させる方法を与えている。保全方策として一般的なブロック取替え方策を直列システムに適用する場合の最適保全時期決定法を与えるとともに、実施段階で得られるデータに基づく逐次計画法の有効性を明らかにしている。

本研究は、信頼性工学における先験情報のもつ不確実性の取扱いについて、そのベイズ統計学的方法論を研究したものであり、信頼性解析・設計について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

また、本研究は、システム工学の分野に関係する総合的研究であり、システムの解析と設計の方法論に寄与するところが大きい。

よって、論文提出者 三道弘明は学術博士の学位を得る資格があると認める。