

博士論文の内容と審査結果の要旨

プラスチックフィルム用いた包装材の信頼性の研究ではヒートシールの強度分析が必要である。ヒートシールは2枚のプラスチックフィルムを熱圧着し、袋状にする製袋技術としての産業応用されている。ヒートシールの界面を顕微鏡写真によって観察すると、その界面は線分とみなすことができ、不良品では接着された界面と未接着の界面が交互に観測される。ある温度で接着したとき、界面がどのように接着され、どのように未接着であるか、その分布を知ることはヒートシールの品質を管理する上で重要である。しかしながら、界面は顕微鏡の視野の範囲でしか観測されない。

その視野からは、界面の正確な長さをすべて知ることはできない。本論文では観測の可能な区間の範囲を「窓」と呼び、観測が限定された窓からなる場合の再発事象のモデルとそのパラメータの推定を論じている。

存時間分析や信頼性工学などの分野では、生存時間あるいは寿命時間の長い値を観測することは困難で、必然的に不完全データとなってしまう。このように観測範囲が制限されることから生まれる、データの不完全性にどのように対処するかが大きな問題とされてきた。本論文では右側打ち切りと左が打ち切りを拡張した窓打ち切り状況下での線分の長さの分布がその研究内容である。Laslett (1982) は空間上の線分の長さの分布を推定する問題と、生存時間の分布を推定する問題の共通性を指摘しており、本論文の基礎となっている。

2章では、本論文で扱う再生過程についてこれまでの研究結果を簡潔に紹介し、後の章の準備を与えている。確率過程の定義を述べ、それらの性質、主に過程が十分に長い時間が経過した極限でどのような振る舞いをするかを検討し、均衡分布に対しての詳細な議論を与えている。

3章では、窓打ち切りされた観測からパラメータを推定する方法をまとめ、まだ十分に推定量の性質が明らかになっていない場合についてのシミュレーションを用いての検証を行っている。最尤推定を行う場合には、観測されたイベントの生起の間隔を、完全な観測、窓の終点のみで途切れた観測、窓の始点のみで途切れた観測、窓の終点と始点、両側で途切れた観測4種類に分類するアプローチが有用であるとしている。

4章では、窓打ち切りされた交代再生過程に対応する尤度を導出し、窓打ち切りされた交代再生過程のパラメータ推定を可能にしている。また、ここで提案された手法はアベイラビリティの推定精度の改善に役立つことを指摘している。さらに、アベイラビリティだけでなく、交代再生過程における再生間隔の分布を推定できるというメリットを持っているとしている。ヒートシールの強度を分析する際、短い未接着面が多くある場合と、長い未接着面がある場合では、比率は

同じでも強度に与える影響は異なることが考えられるため、分布についての情報を得ることは重要であり、本論文で提案した方法で可能になったとしている。

5章では、Rootzen & Zholud (2016) による条件付き最尤法を基にした推定 (Rootzen & Zholud 法) と、阿部・鎌倉 (2016) による最尤法を基にした推定 2 種類を比較している。状態 0 の長さの分布のみに関心があり、状態 1 と状態 0 の長さの分布が独立であっても、阿部・鎌倉 (2016) の方法が標準誤差で評価して良い性質を持っているとしている。この優位性は、Rootzen & Zholud 法では状態 1 の長さの比率 ρ に関する情報を利用することができないからである。特に、状態 0 の長さの分布と状態 1 の長さの分布がともに指数分布の場合、漸近相対効率を導びき、理論的にも考察を与えている。

事例研究では再生間隔の分布に対して、状態 1 の長さの分布と状態 0 の長さの分布の尺度パラメータに、それぞれ $\exp(\beta_{1,0} + \beta_{1x})$, $\exp(\beta_{0,0} + \beta_{0,1x})$ という形で説明変数 x を入れることで、回帰型のモデルとして利用できることを示し、その有用性を指摘している。

6章では、本研究の成果を要約し、窓打切り状況下での交代再生過程のパラメータの推定には Abe & Kamakura (2016) の全尤度法が優れており、信頼性工学におけるアベイラビリティや MTBF, MTTR の推定にも応用が可能であると論じている。

本博士論文で示された結果は、窓打切り状況下での交替再生過程におけるパラメータ推定のための優れた方法であり、2つの事象が交互に繰り返して起こるような問題、たとえば、本論文で扱っているヒートシールの界面の強度の分布特性の把握の問題に対しても、応用上、有用であると判断できる。

以上により、本論文は博士 (工学) の学位を授与するに十分なものであると認める。