

資料紹介

「Probability, Statistics and Data Uncertainties in
Nuclear Science and Technology」, D. L. Smith 著

(日本原子力研究所) 千葉 敏

本書は、OECD NEA の旧核データ委員会（現核科学委員会）発行の“科学と工学における中性子物理と核データ”シリーズの第4巻目として1991年に発行された統計学に関する啓蒙書である。筆者の Donald L. Smith は MIT で物理の博士号取得後アルゴンヌ国立研究所で長年中性子断面積（主として放射化断面積）の測定と核データの評価に携わってきたベテランである。ちなみに、本シリーズの第1巻は“NUCLEAR FISSION AND NEUTRON-INDUCED FISSION CROSS SECTIONS (G.D. James et al., 1991)”、2巻目は“NEUTRON SOURCES (H.H. Barshall et al., 1983)”、3巻目は“NEUTRON RADIATIVE CAPTURE (B.J. Allen et al., 1984)”と続いて来ている。これら3巻はいずれも Pergamon Press から刊行されているが、この第4巻目はアメリカ原子力学会から発行されている。著者に理由を尋ねた所、『この方が安くなるから』という読者としてはたいへんありがたい返事が返ってきた。ただし、本の大きさや装丁など前3巻とはかなり違ったイメージを受ける。内容的にも、前3巻と異なり一人の手によって書かれているため、基礎的な事から実際の応用で役に立つような事まで幅広く首尾一貫している。さらに、本書は、実験屋によって書かれた統計学の教科書であるため、数学的厳密さや美しさよりは、直感的な議論や核データ（正式には核反応断面積、核構造、etc.）の測定で実際に出てくる例に基づいて議論を展開する手法が取られているため、本書を実際に必要とする読者にとっては取っつきやすい内容となっている。このため、初学者でも十分ついていける内容である。

本書は、前半で基礎的な確率論を展開し、後半では統計学が解説されている。ただし、統計学と言っても実際にはパラメータ推定に必要な統計的推論 (Statistical Inference) の方法が主で、それが本書の主題であると言っても良い。全部で13にのぼる章の表題を以下に記す。

- 第1章 序論
- 第2章 事象 (Event) と事象空間
- 第3章 確率変数とその関数
- 第4章 確率の基礎概念
- 第5章 条件つき確率と独立性
- 第6章 確率関数の性質について

第7章 いろいろな確率分布

第8章 モンテカルロ法と中心極限定理

第9章 誤差、誤差伝搬と誤差ファイル

第10章 ベイズの定理、ラプラスの定理と帰納的推論の性質

第11章 統計学の基礎概念

第12章 最小自乗法とその応用

第13章 現代原子核工学における核データの不確定性の持つ意味

1～8章は言ってみれば基礎論で、第9章以下を理解するための前座的な意味を持っている。ただし、前半は少し冗長であるような気がするし、必ずしも8章までを読まなくても9章以下が理解できないと言うわけではないので、手っとり早くパラメータ推定を理解したい人は後半だけに目を通せば十分である。この第9章以下では、共分散、ベイズの定理や最小自乗法など実際の仕事で役に立つ事が非常に丁寧に解説されている。基礎的なデータの誤差から如何にして相関が生じるか、あるいはベイズの定理、一般化最小自乗法、制限付きの最小自乗法などを用いてパラメータ推定をやる際に必要な式が実際に導出されている。これらの式の導出は、基本的には行列の演算の形で行われているので、最終結果を暗記するのも比較的容易だし、プログラムも非常に組みやすい。これを個々の行列要素に関する式として導くとなかなか覚えるのも大変で見通しもつきにくくなる。本書のようなやり方に従えば、例えば、いろいろな微分データと積分データを同時に考慮して微分データの精度を向上させていくような問題や、全く同じデータから如何にして中性子スペクトルに関する情報が得られるのかというような、ちょっと考えるとなかなか難しそうな問題も、結局は感度行列（デザイン行列とも言う）を問題（推定したいパラメータ）に応じて決めてやれば良いのだという事が分かる。また、近年パソコン等では、行列の反転や乗算を自動的にやってくれるソフトがいろいろ出回っているので、本書に出ているいろいろな式とこれらのソフトを用いればたちどころに最小自乗法の計算が出来る。私は、Math CAD というソフトを最近使っているが、例えばこれを使えば、データをベクトル t に、その共分散を行列 V に、デザイン行列を行列 D に代入しさえすれば、本書の(12.12)式より、求めたいパラメータ（ベクトル s として）は次のような一つの式を入力するだけで即座に計算できてしまう；

$$s := (D^* \cdot V^{-1} \cdot D)^{-1} \cdot D^* \cdot V^{-1} \cdot t$$

「核データニュース」の前号と本巻で解説したピールのパズルについても、多くの結果は実際にこのようにして求めたものである。計算がこのように手軽だと、デザイン行列をいろいろ変えてみたり、相関の強さを変えてみたりと、いろいろアイデアも湧いて来るから不思議なもので、時には単に手軽と言う以上の本質的な意味も持ってくる。

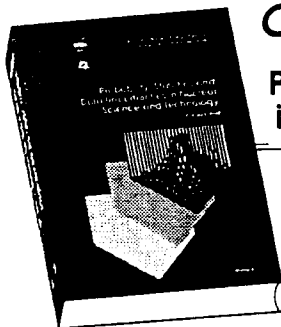
本書では、ベイズの定理がいかにして古いデータから得られた知識と新しいデータとを融合して知識を洗練していくかということ等もわかりやすく説明されている。ただし、本書で

は非線形の問題は、テラー展開して線形化する最も簡単な方法しか扱っていないので、栗屋先生の本（栗屋 隆、「データ解析」、学会出版センター）等と併せて読むと良いだろう。ベイズの定理における事前分布の取りかたはいつも問題になる所であるが、本書ではジェフリーズの考え方が説明されている。これは直感的にはいいかもしれないが、それが本当に正しいかどうかを判断するのは本書だけでは不可能なのではないだろうか。むしろ、フィッシャーの情報量を用いる方法の方が分かりやすい気がするし、現代情報理論の立場からはエントロピーを使った説明の方がいいかもしれない。ただし、いずれにせよ間違ったことが書いてあるわけではない。また、本書には、ピールのパズルの事も簡単ではあるが触れられている。

核データの世界では、ベイズの定理や一般化最小自乗法など高度に発達した統計的推論が日常的に行われて、もはやパーセントの精度を問題にするところまで来ているので、このような統計学の果たす役割はむしろ非常に大きい。こういう事から D. L. Smith はこの分野での第一人者として、本書を特に核データ分野での教科書として意識して執筆しているのだろう。では、本書は核データ以外の分野の人にとっては意味がないものだろうか。少なくとも私はそうは思わない。全ての実験には不確定さが伴うものであり、不確定な複数のデータから、より真実に近い値を推定しようという努力は理工学のみならず社会科学、人文科学、医学、薬学、農学等の多くの分野においても普遍的に重要な意味を持っているはずである。現時点において一般化最小自乗法などの洗練された方法が用いられていないからと言って、今後もそれが真実であると決めつけるの、むしろその分野が正常に発展していなくていいということを暗に期待していることを意味しているような気がしてならない。このような意味から、本書は非核データの分野の人にも必読の書である。

私は、D. L. Smith が本書の最終原稿を作成中にたまたま同じ研究室に滞在していたので、本書に関していろいろ意見を求められた一人である。日本からは九大の神田幸則先生もコメントターの一人となっている。本書の表紙にある、階段のようなものがたくさんある絵は、私が著者と一緒にやった $^{115}\text{In}(n, n')^{115\text{m}}\text{In}$ 反応断面積の評価値の相関行列をグラフ化したもので、マイクロ VAX を使って私がプロットしたものである。D. L. Smith 氏はこの絵を非常に気に入ってくれて自分の本の表紙にしたいと言っていたが、本当にそうなるとは思わなかった。実はこの絵は一見3次元表示となっているが、遠近法などは全然考えていない、かなり粗野な作品である。私としては隅の方に小さく載るだけだとばかり思っていたのでこれでも十分かと思っていたが、こんなに大々的に描かれると知っていれば、もうちょっとちゃんとした絵にしたのにと思ったりしている。

本書は、アメリカ原子力学会から 25 US\$ で販売されています。内容を考えると驚異的にお買い得なので、興味をもたれた方は是非ご一考されたし。次頁に注文用の用紙を添付します。



ORDER FORM

Probability, Statistics and Data Uncertainties in Nuclear Science and Technology

by Donald L. Smith

~250 pages • 8 1/2 x 11 • Hardcover • \$25.00
ANS Order No. 300025 • ISBN: 0-89448-036-7

All orders must be prepaid.

American Express, MasterCard, Visa, and travellers checks accepted.

() American Express () MasterCard () Visa

Card Number _____ Expiration Date _____

Signature _____

(Please Print)

Name: _____

Title: _____

Company: _____

Street Address: _____

City/State/Zip: _____

Country: _____

Telephone: _____

Total of order (____ x \$25 each) \$ _____

Less 10% discount for ANS Members, ICONS, OMs \$ _____

ANS Member Number

Orders outside North America add \$6 to cover shipping
via OCS or \$20 for shipping via TNT (3 days) \$ _____

Checks drawn on non-U.S. banks add \$20 processing fee
(not necessary if paying by credit card or travellers checks) \$ _____

Illinois residents must add 7% sales tax \$ _____

Total Amount Enclosed \$ _____

Remit to: American Nuclear Society • P. O. Box 97781 • Chicago, IL 60678-7781 • 708/579-8210