数 理 地 質 学 書 寸 評

水 谷 伸 治 郎*

MIZUTANI, Shinjirô*: Brief Review of Mathematical Geology Books

次のような問題がある。「ウサギがいる。これを殺すキツネがいなければウサギの数は増加する。一方、食べるウサギがいなければキツネは徐々に死んで行き、その数は減少するであろう。両者が共存している時には、ウサギの数は、ある増加率によって増えると同時にキツネによって食べられる数だけ少なくなり、その差がある時点の総数となる。このような相互関係は一つのダイナミック・モデルである。云々」—この問題は、一階連立常微分方程式の一つの応用例として、KEMENY, J. G. and SNELL, J. L. (1962), *Mathematical Models in the Social Sciences*. 144 pp., Ginn and Company, N. Y. の第3章はじめにあげられているものである。また、次のような問題がある。「ある鉱山会社は互に離れた二つの鉱業所を経営していて、ある鉱石を採掘している。鉱石は高、中、低品位に区分されていて、各々の生産量は、それぞれの鉱業所で異っている。また、それぞれの鉱業所の一日の仕事の生産コストも異っている。この鉱山会社は契約によって、一週間の間に、高、中、低品位鉱をある量だけ製錬所へ供給しなければならない。さて、それぞれの鉱業所で一週何日仕事をすればよいか。」—この問題は、線形計画法、最小値問題の応用例として、KEMENY, J. G., SNELL, J. L. and THOMPSON, G. L. (1966), *Introduction to finite Mathematics*. 2nd ed., 465 pp., Prentice Hall, N. J. の pp. 329-331 に記されている。数学の体系は、その応用とは直接関係なくつくられてきていて、従来、地質学

においてはこのような考え方—数学的モデル—を利用した研究は少なかった。一つには伝統的な博物学的取り扱い方や *idiographic* なまとめ方に研究の重点がおかれていたためであろうが、もう一つには、ただ考え方だけでは、具体的な現象と直接結びつけることができず、数理的な手法に関心が持たれないためでもあった。しかし、高速計算機の出現と利用はその障壁をとり除いていった。明らかにこの計算機の技術的な発達と数理地質学の発展とは密接な関係を持っている。事実、上記の最初の問題についての具体的な数値解は計算機によって求められており、また、線形計画法に関する問題の多くの解は、大形の行列計算を含むため、電算機の助けなしでは得られない。

このような特徴があるため、数理地質学に関係する著書は、数学的な体系を背景に持ち、何らかの形で電算機のプログラミング技術の解説、あるいは応用を含めてまとめられているものが多い。さらに、全体の傾向を知るといって、分布の特徴を掴むということ、平均からのずれを利用して特性を明らかにしていくということ等々のために、いわゆる記載統計学的な知識や技法が記述されているものも少くない。MERRIAM (1975) は MCCAMMON (1975, 後述) の第6章で、1950年代、統計; 60年代、相関と分類、傾向分析; 70年代、シミュレーション; 80年代、?; という動向のあることを示している。著書についても、その内容にこのような変化が見られる。一方、このような数学的なモデルを用いる研究やデータの解析には、不馴れな研究者も多く、次の世代に対する教育も正しくはできないという危惧もあって、そのためのテキストも次々に出版されるようになってきている。

* 名古屋大学理学部地球科学教室; Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Nagoya University, Nagoya.

いずれにしても、最初にあげた「ウサギとキツネ」、あるいは「鉱山会社」の代りに、もっと身近な具体的な例を地質現象の中からひきながら、理解を容易ならしめることについて、それは、著者の多くが、地質学を専攻する研究者として、経験を重ねてきていることによるのであろう。

さて、1972年6月19-30日、Illinois 大学で“地質学における最近の統計学的方法”と題する Summer short course が開かれた。対象は地質学に統計学的手法を応用したり、あるいは計算機を利用したりする分野の教育に携わる College teacher である。極めて意欲的な28名の参加者があったという。この時の招待講師、CHAYES, F., FOX, W. T., KLOVAN, J. E., KRUMBEIN, W. C. および MERRIAM, D. F. のメモを中心にまとめたものが、

MCCAMMON, R. B. ed., (1975), Concepts in Geostatistics. 168 pp., Springer-Verlag, N. Y.

である。統計確率 (MCCAMMON), R-, Q-モード因子分析 (KLOVAN), 時系列解析 (FOX), マルコフモデル (KRUMBEIN), 比率型データの相関 (CHAYES), 将来の問題 (MERRIAM), いろいろな具体例 (MCCAMMON) について解説されている。アメリカでの動き、関心の程度、レベルなどを知るため便利ではあるが、何せ高価で (4,990 円) おすすめはできない。ただ、これだけについて、みっちり10日余の講義と演習のあったことがかなりの成果をもたらしたであろうことは想像に難くない。因みにこの course は、National Science Foundation によって support されたものである。

AGTERBERG, F. P. (1974), Geomathematics. 596 pp., Elsevier, Amsterdam.

本書は、Elsevier からのシリーズ Developments of Geomathematics の第一巻として出版された。とにかく関係のあることを、かなり初歩的なところから高度なところまで含めてまとめると、こうなると思わせる著書である。取り扱い方や展開の仕方にむらがあるのは無理もないが、数学的手法の多様さ、豊富な応用例の点から云えば、まず本書を開いて見ようという気にさせるだけの内容を持つ

ている。その主要な部分は、Ottawa 大学での学部学生向けの講義、Queen's 大学での鉱山地質学者向けの講義、Kansas Geol. Survey での解説のノートからまとめられていて、それに微積分、行列、解析幾何、統計等の入門解説を付けたものである。著者も述べているように、入門解説の章を除くと、多くの部分はすでに発表している研究内容を中心とした case history からなり、第13章、Multivariate stochastic process-models with applications to the petrology of basalt がその好例である。シミュレーションについての例示はほとんどない。

TILL, R. (1974), Statistical Methods for Earth Scientists. 154 pp., Mcmillan, London.

著者は Reading の堆積研究所の講師。学生を対象として書かれたもので、数理統計学の応用例を地質学や地球物理学に関係した分野から引いて簡潔にまとめられている。そのため数学的な厳密性は省かれていて、ものたりなさを感じる点も少くない。しかし、それがかえって本書を読みやすく、なじみのあるものになっている。例示が適切なる故であろう。内容全体の程度からいえば、極めて初歩的なものである。不可欠・最低限、この程度の知識を持っていたい、という教育的な意味もあるのであろう。

DAVIS, J. C. (1973), Statistics and Data Analysis in Geology. 550 pp., John Wiley & Sons, N. Y.

著者は Kansas Geol. Survey にいて、I. A. M. G. の設立やその後の活動に大きな役割を果たしている、この分野での中心的研究者の一人。その豊富な経験を生かして、最も重要と思われる入門的な、あるいは基礎的な面をわかり易く解説していて、おすすめできる好著である。Introduction につづいて、Computers and Programming の章があるのも一つの特徴である。統計、行列の解説もわかり易い。そして、これにつづく3章が応用例を混え、関係の subroutine を掲載した部分である。この著者が編集している I. A. M. G. News Letter No. 7 (July, '75) によると、本著に関係した下記のプログラムは、再び SAMPSON, R. J. によって revise され、磁

気テープに入れられた。このテープは、本著の III. Elementary Statistics (7 programs), IV. Matrix Algebra (10 programs), V. Sequences of Data (11 programs), VI. Map Analysis (4 programs), VII. Multivariate Analysis (14 programs) の各章に対応するもので入手可能。ただし、UNESCO クーポンで125ドルである。その中には N 個のサンプルの平均、分散、相関係数、にはじまって、フーリエ解析、線形判別関数、等々が含まれている。値段は別問題として、内容からみて実際には必要とは思われない。

MERRIAM, D.F. ed., (1972), *Mathematical Models of Sedimentary Processes*. 271 pp., Plenum Press, N. Y.

国際堆積学会が Heidelberg で開かれた 1971 年 8 月 31 日, I. A. M. G. との共催で表題のシンポジウムが開かれた。本書はその論文集。堆積作用は、その現象を現在も観察しうる面が多いこともあって、無理なくモデル化できる研究対象である。したがって、議論は、いかにモデル化するか、ということより、いかなる因子や要素がその中に含まれているかという点に集中しやすい。本書では13編の論文のうち、7編が、乱数もしくは確率論的要素をそのモデルの中に考慮して、各種の堆積作用の問題を論じている。とはいっても、数学的な取り扱いはもちろん、対象も多方面にわたり、程度は高いものが多い。

CUTBILL, J.L., ed., (1971), *Data Processing in Biology and Geology*. 346 pp., Academic Press, London.

1969 年 9 月 24-26 日, Cambridge 大学地質教室でシンポジウムが開かれた。その時に出された論文をまとめたもので、編者は Sedgwick Museum の研究者である。われわれが取り扱うのは、数字になって表現されているものばかりではなく、文字として表わされるデータや、または加工されていない生の情報や資料もある。計算機で、これらの情報やデータをいかにまとめ、処理し、利用するか、というのがこのシンポジウムの主題であった。20篇の論文のうち4分の3が地質学関係者からのものであり、半数以上はイギリスの研究者による仕事である。一部を除いて、ほとんどが情報検索の考え方、技法、実

例を中心として述べてあるもので、博物館や図書館などにはじまって Data Bank にいたるまで、広くこの問題が論じられている。

REYMENT, R. A. (1971), *Introduction to Quantitative Paleocology*. 226 pp., Elsevier, Amsterdam.

多くのデータが集められ、その全体の傾向や広がり論ずるために統計学の助けを借りるように、多くの個体や種の集まり方、そして、その変動を研究するためにも同じ手法が使われる。対象が化石であれば古生物学の分野においても事情は同じである。著者は1973 年来日したスウェーデンの古生物学者で、対象として化石種群集をとりあげて、標本分布論を中心にまとめている。計算機プログラムも掲載されている。

BLACKITH, R. E. and REYMENT, R. A. (1971), *Multivariate Morphometrics*. 412 pp., Academic Press, London.

筆頭の著者はアイルランド, Trinity College の動物学者。生体の各部位を測定し、その結果から形態の相異、類似を研究するという学問分野で最も頻繁に利用される統計学的手法、すなわち多変量解析についてまとめられたもの。例には、現生種、化石種の生物があげられているが、本書の大部分は、この数学的手法の解説である。計算機プログラムも付されている。

KOCH, G. S., Jr., and LINK, R. F. (1970), *Statistical Analysis of Geological Data*. 375 pp., John Wiley & Sons, N. Y.

著者 GSK は、地質学者で U. S. Bureau of Mines に所属し、RFL は統計学者。本書は地質学に関係ある例をあげながら、標本分析、検定、標本抽出について論じ、解説したもの。

MERRIAM, D. F. ed., (1970), *Geostatistics*. 177 pp., Plenum Press, N. Y.

Kansas 大学で 1970 年 6 月 7-9 日に開かれたコロキウムの論文集。相関、傾向、分類、などに関する数理統計学的取り扱い方とその結果に基づく推論と適用限界について、また確率論的なモデルについて研究された結果で、程度は高い。寄稿者は、アメリカ 9, フランス 3, カナダ, チェコ各 1 名。掲載論文 12 編。

HARBAUGH, J. W. and BONHAM-CARTER, G. (1970), *Computer Simulation in Geology*. 575 pp., Wiley-Interscience, N. Y.

著者の一人 JWH は、1976-1977 の SEPM President 候補者。1966 年、Kansas Geol. Survey の Computer Contribution 1 の海成堆積層形成についての計算機シミュレーションの報告を出した人でもある。地質現象をどう見ていくか、ということシミュレーションの試みの中で、実に適切に示してくれる好著である。数学的モデルとはどのようなものであるか、これを読むことによってよく理解できるであろう。内容は I. Introduction, II. Models and Simulation, III. Generating Random Variables, IV. Markov Chains, V. Some Numerical Methods for Solving Equations, VI. Flow and Transportation, VII. System Control, VIII. Optimization, IX. Sedimentation Applications, X. Other Applications. で、最後に一次連立方程式と行列演算の解説が付く。とくに重要な部分には、計算機プログラムが記されていて参考にもなる。最初に記したウサギとキツネの例は、Ecology and Paleoecology の項 (pp. 476-479) に略述されている。各節の終りにまとめられている Annotated Bibliography も良い。推薦できる図書の一つである。

ROMANOVA, M. A. and SARMANOV, O. V. eds., (1970), *Topics in Mathematical Geology*. 281 pp., Consultants Bureau, N. Y.

ソ連の斯界の指導者であり、I. A. M. G. 初代の会長でもあった A. B. VISTELIUS の業績を称えて出版された論文集 (1968 年) の英訳。寄稿者はソ連の他に、アメリカ、カナダ、フランス、南ア、日本、チェコ、アイルランドから。掲載論文 24 編。とくにまとまったテーマはなく、統計、確率、モデル、その他多岐にわたり、その程度も高い。

MERRIAM, D. F. ed. (1969), *Computer Applications in the Earth Sciences*. 281 pp., Plenum Press, N. Y.

Kansas 大学で 1969 年 6 月 16-18 日に開かれたシンポジウムの論文集。“国際シンポ”とうたってはいるが、寄稿者はすべてアメリカ人。参集者は世界各国からあったという。話題は地球物理、地球化学、海洋、堆積、石

油、鉱山、岩石、構造、層序等広く割り振られているが、数学的な面では、全くまとまりがない。それは、おそらく計算機を利用すると、どのようなことができるかという期待と模索の時期であったからであろう。しかし、すでにこの時、古生物学の分野で、D. M. RAUP が彼自身、および共同研究者との仕事をまとめ、わかり易く紹介しているのが興味深い。また、W. C. KRUMBEIN の展望も面白い。

HARBAUGH, J. W. and MERRIAM, D. F. (1968), *Computer Applications in Stratigraphic Analysis*. 282 pp., John Wiley & Sons, N. Y.

層序というものが一つの時系列を表わし、その中に周期的な要素、乱数的な要素、あるいは定向性の傾向などを含んでいるものであるため、これが数理地質学の研究対象として好適な資料を提供するものであろうことは、すでに早くから気付かれていた。この層序、地層をその対象に限って、解析例を、数学的な体系を背景にまとめたものである。本書は、この時期に出たものとしては云うまでもなく、読み易く、理解し易い解説がなされている点では、現今でも、その価値は失われていない。内容は統計からシミュレーションまでカバーしており、とくに初心者におすすめできる。

VISTELIUS, A. B. (1968), *Studies in Mathematical Geology*. 294 pp., Consultants Bureau, N. Y.

VISTELIUS の論文集。これを系統的にまとめ、Introduction、各章のはじめの解説、および General Conclusion、Index を付したもので、ロシア語の原著論文も英訳されている。第 I 部、一般的な問題 (電算機のことなど、ここに含まれている)、第 II 部、標本分布各論、第 III 部、Paragenesis (相関、対比の問題などを含む)、第 IV 部、地層の解析、となっている。ソ連において、古くから、この方面の開拓者とし、そして現在、指導者として活躍した実績が各所にうかがわれ、程度は高いが、極めて参考になる論文集である。印刷、製本が悪いこともあり、また、教科書としてまとめられたものではないため、Introduction を除くと読みづらいのが難である。

KRUMBEIN, W. C. and GRAYBILL, F. A. (1965), *An Introduction to Statistical Models in Geology*. 475 pp., McGraw-Hill, N. Y.

周知のように WCK は、堆積地質学者、1938年の PETTIJOHN, F. J. との共著書 *Manual of Sedimentary Petrology*. 549 pp., Appleton-Century-Croft, N. Y. 以来、この方面に関心と興味を持ち、研究をつづけてきて、統計数学者 FAG との共著を出した。内容は大部分が統計学。しかし、その考え方、利用の方法、展開の仕方など、徹底的に地質学な現象および資料を用いて解説につとめ、その努力が実って、地質学について勉強しながら統計学的手法を学ぶ、という読後感を持たせる。数学的な説明も丹念になされてる。ただし、因子分析、クラスター分析、あるいはシミュレーションについては、詳細に論ずる余裕がなく、著者のいう Stochastic-Process Model についても、軽く触れられているにすぎない。計算機が利用されるにいたっていない時期の著書であるためでもあろう。しかし、身近な例を見ながら初等数理統計学を学ぶには好適な本である。

MILLER, R. L. and KAHN, J. S. (1962), *Statistical Analysis in the Geological Sciences*. 483 pp., John Wiley, N. Y.

本書も、上と同様、統計学を主体とした教科書である。しかし、この解説の特徴は、どちらかといえば、数学的な取り扱い方の厳密

さにあって、その意味でこの本は好評であるという。事実、確率の説明にはじまり、多変量解析、時系列まで詳細に述べてあって、おそらくこの時期には、大いに役立った著書であったであろう。関係あるわが国の研究例として KOTAKA, T. (1953) *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, (10), 31-36, が紹介されている。

さて、関係あるものを、どのあたりまで紹介するかとなると、その境をきめるのがむづかしい。最初にあげた McCAMMON (1975) は、上記の MILLER and KAHN の著書が出てから云々、と述べているので、このあたりで筆をおくことにした。私は、数理地質学について、かつて、簡単な解説をしたこともあったので (地球科学, Vol. 28, No. 4, pp. 128-149), これをも参照していただければ幸である。また、上記のうち、VISTELIUS (1968) の *Introduction*, あるいは AGTERBERG (1974) の Chapt. 1, などはいろいろな意味で参考になる。それぞれ具体的な問題についての研究例としては、I. A. M. G. の *Journal, Mathematical Geology* に掲載される論文が役立つ。しかし、これを十分に理解するためには基礎的な学習をみっちりやっておかねばならないことは云うまでもない。紙面の都合と取り上げた著書の数が多かったため、単に題名の羅列に終ったが、あらためて主題をしばって討論できるような機会が得られることを念願している。