パーソナルコンピュータを用いた粒度分析プログラム

川野 良信*

Calculation program for grain-size analysis using personal computer

Yoshinobu Kawano*

Program for grain-size analysis is developed by FutureBASIC II-J using personal computer (Macintosh series). The program calculates average, median-size, sorting, skewness and kurtosis by moment and graphic methods, and draws histogram, cumulative frequency curve, probably cumulative curve and overlapped graphs. The grain-size data can be inputted into program from keyboard, spread sheet software and table data file of Kanto Kagaku Service Corporation.

The program is approved by published data. Calculated results by the program are sufficiently confided.

Key words : program, grain-size analysis, cumulative curve, personal computer, FutureBASIC

はじめに

堆積物を研究する場合、粒度分析は欠くことのできない実験作業のひとつであり、大学の堆積学教室では学生実験で粒度分析を課している所も少なくない。筆者の所属する環境基礎講座においても、毎年重量法とエメリー管法を併用して学生実験が行われており、比較的簡単に誰もができる実験と言える。最近の電子機器の発達によって粒度分析そのものの精度は向上を続けているが（例えば、松本, 1991, 1992; 田村・中山, 1993; 片山, 1997), そのデータ処理は未だに煩雑で複雑な行程を経なくてはならない。また、作図も独特な確率累積曲線などがあり、すべてを手作業で行うには大変な労力を要する。

一方、近年パーソナルコンピュータ（以下、コンピュータと略）が飛躍的に進化し、さらに安価にな

り誰もが購入することが容易になってきた。このようなコンピュータを取り巻く情勢の変化にともなってそれを粒度分析の計算処理に利用しようとする試みがなされてきた（例えば鎌田・西岡, 1975; 石田ほか, 1989; 増村ほか, 1991)。石田ほか（1989)や増村ほか（1991)は市販のパーソナルコンピュータを利用して粒度分析データの解析を紹介しており、特に後者は独自にプログラムを開発し、特異な計算・作画を容易に成し得ることに重点を置いており大変興味深い。

コンピュータを使用する利点は誰もが容易に作業を行い、計算結果に個人差を出さず客観的な処理が行えることであろう。逆に短所としてはコンピュータに頼るあまりに重要な計算過程を理解せずただデータを得ることを目的とする若い研究者が増えていることである。日常的な計算にコンピュータを使用することは否定しないが、一度は計算過程を自分で確かめながらデータを処理することが肝要である。そうすることによって、得られた結果の解釈が一層深まるものと思われる。筆者は粒度分析を15年ほど前に行ったにすぎないが、本論のプログラムの

受付：1999年10月12日 受理：1999年10月26日

*佐賀大学文化教育学部環境基礎講座

Course of Science and Technology, Faculty of Culture and Education, Saga University, Honjo 1, Saga 840-8502, Japan.

開発にはこの関数電卓のみで行った作業と知識が活かされていることを強調しておきたい。

本論で紹介するプログラムは増村ほか (1991) で述べられたものに改良を加え、各種粒度分析法によって得られたデータの解析や確率累積曲線を作成することを可能にしたものである。

計算の概要

本プログラムは基本的には増村ほか (1991) を踏襲している。入力された値からは積算統計法 (モーメント法)、図解法による平均粒径・淘汰度・歪み度・尖り度を算出する。既に多くの論文にこれらの計算方法は記されているが (例えば, Friedman and Jhonson, 1982; 碎屑性堆積物研究会, 1983), プログラムの計算過程を理解する為に必要であるので敢えて説明しておきたい。

(1) 積算統計法 (モーメント法)

以下に解説する計算過程は碎屑性堆積物研究会 (1983) および田村・中山 (1993) に基づいたものである。一般的に算術平均からの偏差を n 乗した値を算術平均のまわりの n 次の積率 (moment) と呼び、この平均値を使って各粒度係数を求める方法が積算統計法である。粒度係数は算術平均 (平均粒径値)、標準偏差値 (淘汰度)、歪み度、尖り度で粒度を ϕ 値で表すと次式によって求められる。

算術平均 (Ma) は

$$Ma = \frac{\sum p d_{\phi}}{100}$$

ここで d_{ϕ} は任意の粒径, p は粒径 d_{ϕ} の頻度をそれぞれ表す。

標準偏差 (σ_{ϕ}) は

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{\frac{\sum p (d_{\phi} - \bar{d}_{\phi})^2}{100}}$$

ここで $\bar{d}_{\phi}$ は算術平均粒径を表す。

さらに、歪み度 (Sk_{ϕ}) は

$$Sk_{\phi} = \frac{\sum p (d_{\phi} - \bar{d}_{\phi})^3}{100 \sigma_{\phi}^3}$$

で表され、尖り度 (K_{ϕ}) は

$$K_{\phi} = \frac{\sum p (d_{\phi} - \bar{d}_{\phi})^4}{100 \sigma_{\phi}^4}$$

で表される。このように積算統計法ではある一定の

計算方法に基づいたものであり、市販の表計算を熟知していれば容易に求めることができる。

(2) 図解法

図解法は最も一般的に使われている Folk and Ward (1957) と Inman (1952) を採用した。Folk and Ward (1957) による平均粒径 (*Average*)、淘汰度 (*Sorting*)、歪み度 (*Skewness*)、尖り度 (*Kurtosis*) は以下の通りである。

$$Average = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

ここで ϕ_N は N パーセンタイルの粒径の ϕ 値を示している。

$$Sorting = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6.6}$$

$$Skewness = \frac{(\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

$$Kurtosis = \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Inman (1952) による中央粒径 (*Median Size*)、淘汰度 (*Sorting*)、歪み度 (*Skewness*) は以下の通りである。

$$Median\ Size = \phi_{50}$$

$$Sorting = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{2}$$

$$Skewness = \frac{\frac{(\phi_{84} + \phi_{16})}{2} - \phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}}$$

ここで注意しておきたいが増村ほか (1991) のプログラムでは上記の Folk and Ward (1957) および Inman (1952) の歪み度を計算する式にバグがあり、正しい値が得られない。増村ほか (1991) のプログラムリスト 4 の 3230 行～3270 行を修正しておく必要がある。

使用環境とプログラム

増村ほか (1991) のプログラムは MS-DOS 版 N88BASIC を開発言語として日本電気社製の PC シリーズおよびその互換機上で起動するものであ

た。今回は地質系研究機関で比較的使用頻度が高い Apple 社製 Macintosh 上で使用するためのプログラムを Future BASIC II 日本語版を使って開発した。基本的には BASIC 言語ではあるが C 言語に近く、実行速度も C 言語に劣ることはない。使用する OS は漢字 Talk7.0以降の MacOS であれば問題なく作動でき、メモリーは 1 メガバイトあればプログラムを利用できる。英語圏の留学生が使用することもあるのでプログラム中に表示される文字はすべて簡単な英語で示してある。ただし、データファイルの保存名は日本語でも差し支えない。プログラムの概要を図 1 に示し、以下に各作業過程について解説する。

通常、プログラム起動後は表形式のデータ入力画面が現れる (図 2)。この表には ϕ スケールおよび累積頻度 (%) を 1 セットとして 60 セット分入力できる。ここで注意しなければならないのは得られた各種粒度データから累積頻度 (%) をあらかじめ計算しておかなくてはならないことである。無論入力されるデータの種別があらかじめ定まっていればプログラムを改良し、累積頻度 (%) を計算すること

は可能であるが、幅広いデータ処理を実施できるように汎用性を重視した仕様にしてある。すなわち、

図1 プログラムの作業内容の概要。

Sample Name = AH81

Phi Scale	Acc.wt%	Phi Scale	Acc.wt%	Phi Scale	Acc.wt%	Phi Scale	Acc.wt%
1.23	0.4						
1.47	2.1						
1.68	5.3						
1.84	8.9						
2.02	16.7						
2.23	32.4						
2.47	52.3						
2.68	64.1						
2.84	74						
3.02	83.6						
3.23	88.6						
3.47	94.7						
3.76	97.9						
4.12	99.3						
4.61	100						

図2 データ入力画面 (数値は碎屑性堆積物研究会, 1983から引用)。

本プログラムはあくまで ϕ スケールと累積頻度(%)から各種統計処理を行うものであり、その前処理の計算には使用できないことを理解しておかなくてはならない。なお、60セット入力できる ϕ スケールの間隔は必ずしも均等である必要はなく、図2に示したように部分的に間隔が変化しても支障はない。

本プログラムではデータの入力方法を3種類用意してある。まず、最初はキーボードによって直接データを入力する方法である。この場合前述したように基本的な計算処理を事前に行ったデータを手元に用意しておく必要があり、あまり効率的とは言えない。第二の入力方法は市販の表計算アプリケーションから転送するものである。基本的な計算処理は表計算アプリケーションによって行われる場合が多いが、本プログラムはそれら表計算アプリケーションからカットアンドペーストでデータを転送することが可能である。第三の方法は沈降式粒度分析装置に付帯してくるコンピュータプログラム(関東科学サービス社制作)のデータを自動的に解析して取り込む方法である。沈降式粒度分析装置は各種研究機関に設置され、その概要についてはすでにいくつかの報告がある(田村・中山, 1993; 岸・公文, 1993)。筆者は新潟大学理学部に設置されている沈降式粒度分析装置に付帯してくるプログラムの解析を行い、そのプログラムがディスク上に出力する計算結果ファイル(拡張子に TBL がつくファイル)を直接読み込むルーチンを制作した(分析装置に付帯してくるプログラムの種類によってはルーチンの修正が必

要な場合がある)。したがって、本プログラムを利用すればデータ処理をすべてコンピュータ上で行うことが可能である。ただし、その場合沈降式粒度分析装置につながるコンピュータが Macintosh であれば問題ないが、MS-DOS 上で起動する PC98 シリーズ(例えば、田村・中山, 1993)であればデータを転送しなくてはならない。しかしながら 3.5 インチフロッピーディスクを併用することによって容易にデータの移動ができるため特に支障はないものと考えられる。また、RS232C ケーブルを用いてデータをオンラインで送信することも可能であろう。以上の3つの方法で入力されたデータは本プログラムによって独自の形式で保存される(図1)。

前述の3つの方法のいずれかでデータを入力後、計算を実行すれば積算統計法に基づいた各種粒度係数を算出できる(図3)。この計算結果そのものは印刷することはできないが、計算結果ファイル(拡張子に RST がつくファイル)を同時にハードディスク上に作成する(図1)。これは通常のエディターであれば問題なく開くことができるようにテキストファイルの形式になっている。計算結果を論文に掲載する際にはこのテキストファイルを加工して投稿形式に整えることが可能である。計算処理を行った後で、ヒストグラム、累積頻度曲線、確率累積曲線などを作成する。

増村ほか(1991)ではヒストグラムのY軸は50%に固定されていたが、本プログラムではデータの値を自動的に解析し、10%, 25%, 50%, 75%のい

Sample Name = AH81				10:36:26 09/03/99			
Grain Size	Acc.wt%	wt%	f*m	m-x	f(m-x)^2	f(m-x)^3	f(m-x)^4
1.23	0.40	0.40	0.492	-1.390	0.773	-1.074	1.493
1.47	2.10	1.70	2.499	-1.150	2.248	-2.585	2.972
1.68	5.30	3.20	5.376	-0.940	2.827	-2.657	2.497
1.84	8.90	3.60	6.624	-0.780	2.189	-1.708	1.332
2.02	16.70	7.80	15.756	-0.600	2.807	-1.684	1.010
2.23	32.40	15.70	35.011	-0.390	2.386	-0.930	0.363
2.47	52.30	19.90	49.153	-0.150	0.447	-0.067	0.010
2.68	64.10	11.80	31.624	0.060	0.043	0.003	0.000
2.84	74.00	9.90	28.116	0.220	0.480	0.106	0.023
3.02	83.60	9.60	28.992	0.400	1.537	0.615	0.246
3.23	88.60	5.00	16.150	0.610	1.861	1.136	0.693
3.47	94.70	6.10	21.167	0.850	4.409	3.748	3.186
3.76	97.90	3.20	12.032	1.140	4.160	4.743	5.407
4.12	99.30	1.40	5.768	1.500	3.151	4.726	7.090
4.61	100.00	0.70	3.227	1.990	2.772	5.517	10.981
Average = 2.620 Sorting = 0.566 Skewness = 0.544 Krutosis = 3.623							

図3 積算統計法による計算結果(数値は碎屑性堆積物研究会, 1983から引用)。

図4 ヒストグラムの例.

図5 累積頻度曲線の例.

れかを選択して作画する(図4). ヒストグラムの横軸は最初に入力した ϕ スケールによって自動的に定められ, ヒストグラムの細分もその ϕ スケールによって行われる. 累積頻度曲線は増村ほか(1991)と同様にスプライン補完法を用いて作画を行う. 各種粒度計算を行うパーセンタイルの値はこのスプライン補完法によって求められた値を使用している. Folk and Ward (1957) と Inman (1952) による計算結果は作画と共に画面上に出力される(図5). 累積頻度曲線を作画するとプログラムは自動的に重複比較のためのデータファイル(拡張子に ACC が付くファイル)を起動ディスク上に作成する(図1). 確率累積曲線(図6)では各点を直線で結ぶ仕様にしている. この図も作画すると累積頻度曲線と同様に自動的に重複比較のためのファイル(拡張子に LOG が付くファイル)を作成する(図1). これら重複比較ファイルを使って図7に示す重ね合わせグラフが作成される. 重ね合わせグラフ作成の際に ϕ スケールの異なった試料同士であっても自動的に調整する機能を備えている. また, グラフの重ね合わせ数は最大10試料であり, 各データはマークを変えて表示される.

このようにして描かれた各図(図4~7)は PICT 形式のファイルとして保存できるほかカットアンドペーストで他のアプリケーションへ転送が可能である. 論文に掲載する場合は市販の作画アプリケーションへ移して投稿様式に整えることもでき, すべての作業をコンピュータで処理することもでき

図6 確率累積曲線の例.

る. また, これらのグラフを表示中に印刷を実行すれば, グラフと計算に使用したデータが同時に出力される.

プログラムの検定

本プログラムで計算された値の精度を既存の公表値によって検定してみた. 公表されているデータ(碎屑性堆積物研究会, 1983; 201p)と各種粒度係数および本プログラムで計算した結果を表1に示す. なお, 碎屑性堆積物研究会(1983)の積算統計法の歪み度と尖り度については市販表計算アプリケー

図7 重ね合わせグラフの例.

表1 公表値(数値は砕屑性堆積物研究会, 1983)および本プログラムでの計算結果.

φスケール	累積頻度(%)		公表値	本プログラム
1.23	0.4	平均(積算統計法)	2.622	2.620
1.47	2.1	淘汰度	0.568	0.566
1.68	5.3	歪み度	0.532	0.544
1.84	8.9	尖り度	3.608	3.623
2.02	16.7	φ5(パーセントイル)	1.67	1.636
2.23	32.4	φ16	2.01	1.974
2.47	52.3	φ25	2.14	2.109
2.68	64.1	φ50	2.44	2.379
2.84	74.0	φ75	2.86	2.852
3.02	83.6	φ84	3.03	2.988
3.23	88.6	φ95	3.48	3.461
3.47	94.7	平均(図解法)	2.47	2.447
3.76	97.9	淘汰度	0.53	0.530
4.12	99.3	歪み度	0.15	0.193
4.61	100.0	尖り度	1.03	1.006

ションによって再計算を施したものである。また、既に示した各図(2~6)はこの公表値を引用して作成したものである。まず、積算統計法による結果の比較を行う。積算統計法による公表値と計算値に大きな差異は認められず、両者の値はほぼ一致しているが小数点第二位以下にわずかな違いが認められる。この違いは平均値や淘汰度では比較的小さいが、歪み度や尖り度では大きくなる。前述した各粒度係数を求める計算式をみると歪み度や尖り度は3次もしくは4次の積率と2次の積率との関係式として求

められており、積率による誤差が徐々に大きくなることがわかる。この誤差は主として計算機の有効数字の取り方に依存していると考えられ、機種の違いやプログラムの設定によって幾分変化しているであろう。

図解法による結果の差は積算統計法の場合と同様にあまり大きなものではないが若干認められる。先に述べたように図解法では各パーセントイルに相当する値を図から読みとり計算する方法であるが、公表値は人間が描き読みとったものであるのに対し

て、本プログラムを使用した場合はすべて機械的に読みとった値である。さらに、本プログラムではスプライン補完法を採用しているため計算結果に若干の差が生じたものと考えられる。増村ほか (1991) で既に指摘されているように、より良好な補完を行うことも可能ではあるが、プログラムの肥大化と実行速度の遅延を避けるためにこの部分は省略してある。すなわち、表の各パーセントイルの違いは人間とコンピュータが読みとった値の違いが表れたものである (表 1)。言い換えれば、本プログラムを利用して計算した場合は個人差がなく、常に安定した計算結果が得られるということである。この他、田村・中山 (1993) の公表値とも比較検討を行ったが、上述以上の差は認められなかった。

このように既存の公表値と本プログラムで求めた値を比較した場合、僅かな差が認められるのみで概して良好な結果を得ることが明らかとなった。

おわりに

本論では FutureBASIC II 日本語版による粒度分析のための計算処理プログラムを紹介した。既存の公表値を用いて本プログラムの計算結果を検定した結果、十分に信頼できる値が得られることが明らかとなった。粒度分析は研究のみならず、大学の教養・専門教育の一環としても行われており本プログラムはそれら幅広い分野においても十分使用に耐えられるものである。

今後様々な研究分野でコンピュータの利用が考えられるが、必ずしも自らの研究に適したソフトウェアが存在するとは限らない。独自に計算過程を理解し、プログラミングを行わなくてはならない場合もある。コンピュータの普及に伴いプログラム言語についての解説書も多く市販されており、自らプログラムを開発する環境は整いつつある。今後は筆者のような門外漢ではなく将来堆積学研究を担っていくであろう若く優秀な研究者が開発に携わっていくべきである。それによって新たな堆積物の解析方法が確立され将来の展望につながることを大いに期待するものである。

なお、本論で述べた機器とプログラムのうち、Macintosh, MacOS および漢字 Talk は Apple Computer 社の、PC98シリーズと MS-DOS 版 N88BASIC は日本電気株式会社の、MS-DOS は Microsoft 株式会社の、Future BASIC II は STAZ Software Inc. の製品である。

謝 辞

本プログラムのソースリストは筆者が新潟大学在籍中に増村通宏氏からご教示いただいたものである。その後、プログラムの加筆・修正にあたっても増村氏からはご助言いただいた。新潟大学理学部の立石雅昭教授および研究室の方々には実際にプログラムを使用していただき貴重なアドバイスをいただいた。以上の方々に謹んで厚くお礼申し上げる。最後に本プログラムの発表の機会を与えていただいた立石雅昭教授、石油公団石油開発技術センターの高野 修氏および堆積学研究会のみなさんに心より感謝の意を表する。

なお、本プログラムの使用を希望される方は著者までご連絡ください。

文 献

- Folk, R. L. and Ward, W., 1957: Brazos river bar; a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 30, 1-58.
- Friedman, G. M. and Jhonson, K. G., 1982: *Exercises in Sedimentology*. John Wiley & Sons, NY, 208p.
- Inman, D. L., 1952: Measures for describing the soze distribution of sediments. *J. Sed. Petrol.*, 22, 125-145.
- 石田光男・佐藤治夫・鈴木常夫, 1989: 市販の表型・グラフソフトウェアを利用した地質データ処理 —粒度分析データを例として—. 情報地質, 14A, 21-33.
- 鎌田泰彦・西岡幸一, 1975: 堆積物の粒度分析法の再検討と電算機による数値処理. 長崎大学教育学部自然科学研究報告, 26, 65-89.
- 片山 肇, 1997: 細粒堆積物の粒度分析におけるレーザー回折・散乱法と比重計法の比較. 堆積学研究, no. 46, 23-30.
- 岸 誠一・公文富士夫, 1993: 沈降天秤法と比重計法の組合せによる泥質砂堆積物の粒度分析法. 堆積学研究会報, no. 38, 101-106.
- 増村通宏・保柳康一・高野 修・川野良信, 1991: パソコンによる堆積物の粒度分析解析システム. 堆積学研究会報, no. 35, 61-68.
- 松本秀明, 1991: ふるいを用いた粒度分析法における分析精度についての検討. 東北地理, 43, 298-302.
- 松本秀明, 1992: ふるいを用いた粒度分析の簡便法についての検討. 季刊地理学, 44, 252-257.
- 碎屑性堆積物研究会 (編), 1983: 堆積物の研究法. 地学団体研究会, 東京, 377p.
- 田村嘉之・中山勝博, 1993: 沈降式粒度分析装置の使用法と分析結果の特徴. 島根大学地質学研究報告, 12, 17-22.

パーソナルコンピュータを用いた粒度分析プログラム

川野 良信, 2000, 堆積学研究, No. 50, 19-26

Kawano, Y., 2000: Calculation program for grain-size analysis using personal computer.

Jour. Sed. Soc. Japan, No. 50, 19-26

パーソナルコンピュータを用いた粒度分析プログラムを開発した。このプログラムは平均粒径, 中央粒径, 淘汰度, 歪み度, 尖り度などを算出し, ヒストグラム, 累積頻度曲線, 確率累積曲線および重ね合わせグラフを作成することができる。粒度データはキーボードから直接入力できるほか, 市販の表計算ソフトや関東科学サービス社のプログラムから転送することも可能である。

公表値によってこのプログラムの精度を確認したが, 計算結果は十分に信頼できることがわかった。