礫岩・礫層のしらべ方
③
粒度・分析結果のまとめ

角　靖夫

156号で採取した礫質堆積物の粒度分析実験についてお話ししました．　今回は　その実験結果を整理して　堆積物の粒度組成というものを表現することについて解説いたします．　なお　* 印がついている用語は　この解説用に付けた和名です．

粒度分布の図表

測定値の整理表

各級の総体積や総重量を測定したら　その測定結果を粒度の大きい方から　位取りを間違えないように縦に並べて書いて　測定結果の整理表を作りましょう．　級によって　測定方法が違うときは　それぞれ選別方法　計量器の種類　3直径による体積計算・体積からの換算・適用比重値など　あとで測定値の誤差を吟味するのに役立つことを　備考にして書き添えておきます．　つぎに測定値の総計に対する各級の測定値の百分率を計算して表に書き込むことにします．　そして　この百分率を粒度の大きい級から順次にたし合わせた値（累加百分率・累積百分率・積算百分率という）も入れましょう．

第1図は　簡単な整理表の例をかいておきました．このうちから　測定した**級の区分**と　各級の量の**百分率**（あるいは測定値そのもの）をとり出して並べた表で　粒度分析結果を発表されてもよいのです．　そのときは　選別法・測定法・備考を　文章にまとめます．　粒度分析の測定値や各級の百分率そのものは　たいてい　このような数値の表で示されています．

第1図　粘度分析測定値整理表の例

粒度級	選別法	測定法	測定値	百分率	百分率累加値	備考
φ			kg	%	%	
−7〜−6	体積手選	総重量	1.76	2.3	2.3	
−6〜−5	重量手選	総重量	4.97	6.5	8.8	比重2.65として選別
−5〜−4	体積手選	総重量	13.15	17.2	26.0	
−4〜−3	篩選	総重量	20.07	26.3	52.3	
⋮						
⋮					92.5	
2以上	篩選	総重量	5.74	7.5	100.0	風乾重量
測定値計 備考		12kg 台秤使用±0.005kg	76.54	少数点1けた以下比例配分により捨入		

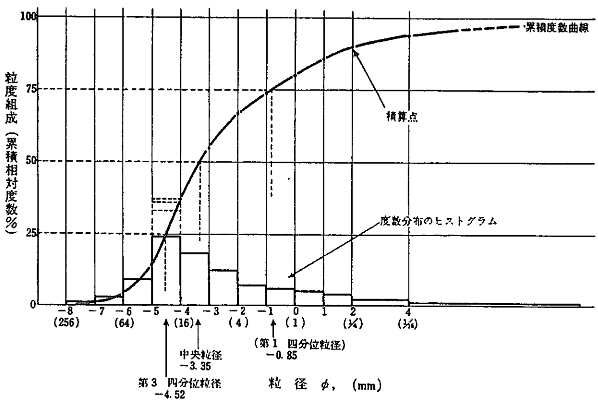
3種類の図表

図表を作るとわかりやすいからといっても　測定値を普通の棒グラフで表わしたり　各級の百分率組成を矩形や円形の内訳図表にしたりすることは　余り意義がないので　推奨いたしません．　試料の粒度組成を知るために粒度分析をしたのですから　全体の粒度組成　すなわち**粒度の分布状態**　が描き出せる図表を重んじるわけです．この目的に沿って　粒度分布を表現させるため　普通**ヒストグラム・累積度数曲線・度数分布曲線**　の3種類のうちから　適当なグラフを使います．　ヒストグラムは測定値がもっている切れぎれの情報をそのまま反映した図表累積度数曲線と度数分布曲線の図表は　粒度分布を　累積度数か分布度数によって　測定値から模式的に推定される形で描いた図表　という違いをもっています．　ですから　とくに累積曲線と度数分布曲線のグラフは　測定値を図表にして見せる立場から作られるものではなくて　むしろ　限られた数の測定値から粒度分布全体を推測するための手段として作図する図面であり　その推定した分布状態を表現して見せる図表であるのです．　3種の図表の相互関係や　作図過程の問題については　別の回で述べましょう．

ヒストグラム

ヒストグラム(histogram)とは　組成を現わす図表という意味のことばで　度数分布棒図表・度数棒図表・柱状グラフとも呼ばれています．　第2図の下部分は　粒度組成を示すヒストグラムの例です．

粒度分布の**ヒストグラムの作り方**は　横軸に粒径を　φ値のマイナスからプラスの順に（実際の直径では大きい方から小さい方へ）目盛って（ファイ尺度以外の目盛り方も使われる）　測定した各級の上限粒径と下限粒径の間いっぱいに棒（柱）を立て並べていきます．　ですから普通の棒図表と違って　棒が横軸に隙間なく並びます．普通の棒図表は　たとえば　花崗岩の礫が何個　安山岩の礫が何個　砂岩の礫が何個‥‥という関係を現わすときに使う図表で　花崗岩・安山岩・砂岩が量的に連続する性質で分類された項目ではありませんから　花崗岩・安山岩・砂岩の棒を見やすいように離して並べ　それぞれの個数を棒の高さ（棒を上下に並べたなら長さ）で現わすように作られます．　普通の棒図表の棒の幅は



第2図 ヒストグラムと累積度数曲線

数量的な意味をもっていないわけです．

ヒストグラムは どの棒も同じ幅（φ 尺度なら 1φ ごと 0.5φごとなど）にして 各棒の高さがそれぞれの度数（%）をそのまま現わすように作れば グラフとして一番見やすい形になります． しかし いろいろな大きさの級を使った測定値の度数を そのままヒストグラムに表わすには まず 横軸に級の上限値・下限値を入れて各棒の幅を与えます． **棒の高さ** の決め方は ちょっと面倒です． 各級の含有率を 各級が図表上で占める幅で 割った値に比例させて決めます． これは「各棒のもつ面積は 棒の幅の間の合計度数（相対度数を使えば%）を表わさねばならない」という **度数分布のヒストグラムの憲法** 第二条による約束なのです．

棒の幅が皆同じヒストグラムでは それぞれの棒の高さが その区間の測定値・含有率（区間内の集計値としての）に比例していますが 棒の幅が揃っていないヒストグラムからは 各級の測定値や含有率を直接棒の高さで読みとることができません． **ヒストグラムの級のパーセントは棒の面積** ということを頭に入れておいて下さい．

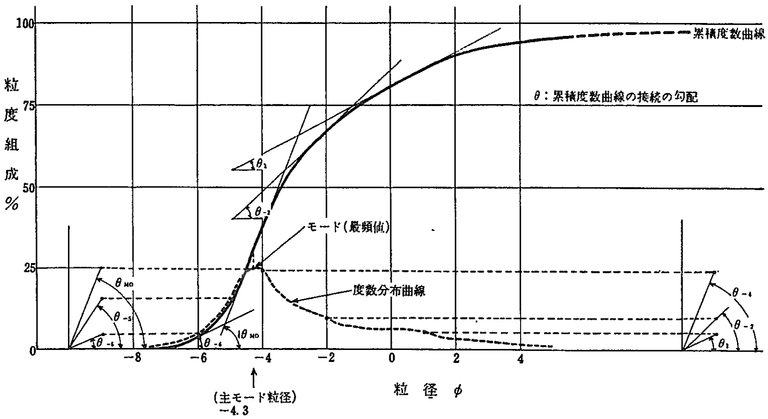
累積度数曲線

よくヒストグラムをみてみましょう． 棒１本はたとえば −6φ から −5φ の間の粒を全部合計した値を示しているだけで −5〜−5.5φ の粒が非常に多いというような その級の間での内訳については 何も表わしていないのです． ところが 奇術によって その内訳を読みとる曲線が生みだせるのです． まず第２図で −5〜−4 φ の棒の上に −8〜−7・−7〜−6・−6〜−5 φ の３つの棒を積み重ねてごらんなさい． すると その高さは −8 φ から −4 φ までの測定値の比率をたし合わせた（積算した・累積した）値になっているでしょう．この関係を使って 各級の境界のところにそれぞれの比率を積算した点（仮に積算点と呼ぶことにしておきます）を 順々につくってゆくことができます． ただし **積算点**は 一般的にはヒストグラムから導かないで 前述の測定結果の整理表に書いたように 各級までの累積度数を計算しておいて その累積度数を 縦軸座標 累積した最後の級の上限値（累積した範囲での最小の粒径に当る）を横軸座標にとって 図表の中に書き込んでやります． ヒストグラムの棒の幅がまちまちですと それぞれの幅を１単位の幅で割った値を その棒の高さに掛けて 積算点の高さを作図していかねばならないのです．

積算点は たしかに 測定した値から直接導びかれた点（点の高さの誤差は 各級の測定誤差の累積になります）です． ここで 堆積物はいろいろな大きさの粒からなりたっているから 粒度の変化が連続であるとみなし また 粒度の分布の仕方も 階段的に変化することがないと考えて 積算した点と点との間を **スムースな曲線でつないで** いきます． こうして描かれた曲線が 累積度数曲線なのです． **累積度数曲線**(cumulative curve) は また 積算度数曲線 積算頻度曲線 累積頻度曲線 累加度数曲線という別名で通用します．

第２図の累積度数曲線をみて下さい． Ｓの字を引き延ばしたような形をしています． 実際には最大の礫のところから わずかの段を作って始まり だんだん勾配が急になり あるところからまた勾配が だんだんゆるくなって少しづつ 100 %線に近づきながら続いていきます． 累積度数曲線の縦軸は 0 から 100 %までの数量を表わすことになり 普通 等間隔式に目盛られます．累積度数曲線は縦軸に累積百分率 横軸に粒径をとった直交座標の上に描かれているのですから 知りたいと思う粒度までの累積百分率が曲線の縦座標で また ある累積百分率をもつ最小粒径が横座標で自由に読みとれるのです．

このカーブ上の組成 50%の点の粒径が **中央粒径** (median diameter) で 普通 Md とか d_{50} の略号で示されます． それから 25%の位置の粒径が **第３四分位粒径** (third quartile) 75%線と交わるところの粒径が **第１四分位粒径** (first quartile) と呼ばれ それぞれ Q_3 とか d_{25} Q_1 あるいは d_{75} の記号で書かれています．統計用語では 横軸を右へ向って小さい値から大きい値へと目盛って使ったときに あるａ累積パーセントの点をａ**パーセンタイル** (percentile : P) と呼び その 25 パーセンタイルを Q_1 75 パーセンタイルを Q_3 と示すのですが 粒度分布の図表では 横軸の値のとり方が逆になっていますから 粒度図表での 25%位置が d_{25} と書かれる一方 普通の 75 パーセンタイルに当るので P_{75}



第3図 累積度数曲線と度数分布曲線

とされ Q_3 で示されます． P_{90} といえば 粒度図表での 10％目で d_{10} と同義なのです． 粒度分布の図表についても 10パーセンタイルを P_{10} d_{25} を Q_1 で示す人もあります． 現在 この使い方がまちまちで 混乱を起こしやすい有様です． 横軸を普通と逆に使うとはっきり確認できない最小粒径を後廻しにして はっきり測れる最大粒径から積算していけるので実用上便利ですし また対数目盛によって無限に遠い所へ出てしまう零の位置を横軸の右側へとって 図表の形を整えることができるのです．

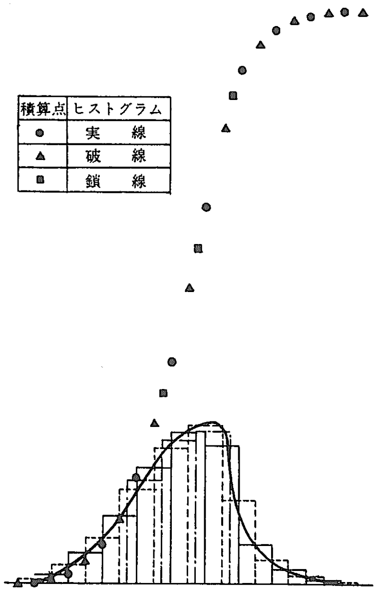
粒度の度数分布曲線

累積度数曲線は 各級の百分率を次々たし合わせた値を基にして作られたのですから 横軸の右の方ほど必ず高くなる そして 曲線の勾配が ヒストグラムの低い棒の付近で緩く 高い棒の付近で急になる宿命をもっています． とすれば 累積曲線の勾配の変化は いろいろな粒径の百分率が粒径の違いに応じて増減する程度を反映しているでしょう． 曲線の勾配と聞けば 微分・積分を習われた方は **累積度数曲線の微分曲線** を作ればはっきりするなと気付かれるでしょう． 累積曲線にぴったりした式を与えて微分することは困難ですが 図学の作図微分法を適用して接線の勾配の変化を集めてやればこの目的が達せられるのです． この手法を第3図に書いてみました． 累積曲線上のいくつかの点に接線をひいて それぞれが横軸と交わる角度(θ)を 横軸の1単位区間の左端にとって 接線と平行な線を引いて それが 級の右端の上をとおる点を作図します． この点の高さを 接線を引いた点と同じ縦軸上に移します． こうして落した点をつないで 一つの山型の曲線が作り出されてくるでしょう． その曲線が **度数分布曲線** (頻度分布曲線 distribution curve) です．…

この作図過程で 接線の角度を横軸の2単位区間に移せば 度数分布曲線の高さを2倍に 3単位区間にとれば3倍にすることができます． でき上がる度数分布曲線の縦軸の目盛は 標準どおりの作図なら累積曲線の縦軸と同じ 度数分布曲線の高さを2倍にすれば もとの2分の1になります． さらに横軸の拡大・縮小も加えて 見やすい度数分布曲線を作ることができます．

ヒストグラムからは 測定に使った級に属する礫が合わせて何％あるかということしか読みとれなかったのですが 度数分布曲線からは 知りたいと思う粒度の含有率が曲線の縦座標で読みとれるのです．（厳密にはこの希望が適えられるのではありませんが）． そして任意な粒度範囲の合計含有率が 知ろうとする範囲の上・下限の粒径の曲線下の面積でわかります． これは度数分布曲線の部分積分値を知ろうとしているので 上・下限粒径の累積曲線の縦座標の差を見るのと同じことにもなります． しかし 度数分布曲線の **大きいご利益** は 一番多い礫は粒径 5.3cm くらいだとか それより大きい範囲では 含有率が粒径の違いに応じてどんどん増したのに それ以下の礫はかなりの範囲まであまり量が減らないとか 細礫から粗粒砂へかけて百分率が急減するとか 度数分布の盛衰状況が一目瞭然にわかることです．度数分布曲線の山の頂点を **モード** (最頻値) といいます． この曲線をもとのヒストグラムと比べてごらんなさい． だいたい似たようなムードの外形をもっているでしょう． しかし この図の例ではヒストグラムの一番高い級の中央とモードが合っていません． そして山のスロープの変化が 少しずれていることがおわかりでしょう．

「いいはずなのに どこで間違ったのかな」いや 度数分布曲線が間違っているのではありません． もとのヒストグラムが違っているのです． 「なんだと！」おこらないで 測定するときにどんな分け方で級をつくっておいたかを思い出して下さい． 同じ試料を −7.5 −6.5 −5.5‥‥φ という境で区切って選別したら どうなりますか 同じ試料から相当違った形のヒストグラムができてしまうでしょう． けれども 二回目のヒストグラムから累積曲線を作ると 前の累積曲線から少しはずれていても ほとんど同じ曲線になることがわかります(第4図参照)． だから ヒストグラムより度数分布曲線の方が 試料の本当の姿に近いし また累積曲線を



第4図 級の取り方を変えたヒストグラムとそれらの積算点の配置

作る意義があるのです.

それから この級の境目を変えても 累積度数曲線や度数分布曲線が ほとんど変わらないということから 含有率の低い部分にあらい級間隔を使っても 結果がそう悪くならない ということと 級の境目を切りのよい φ 値にとらなくて 直径20cm 10cm 5cm‥‥ などで区切って測定した場合も その境の直径を φ 値に換算して図表に入れていけば −8 −7 −6‥‥φ に境をおいて粒度分布したときと ほとんど同じ累積度数曲線や度数分布曲線が作れるということが おわかりになるでしょう.

なお ヒストグラムの棒の頂辺の中央線を直線で結んでいくと **度数分布折線** という図表が作れます. 度数折線は 度数分布曲線のスロープがだいたい連想できるので便利です. ただし 山型の頂上付近の形は級の間隔が小さくしてないと かなりくい違っています.

第1表 骨材用篩目の φ 値

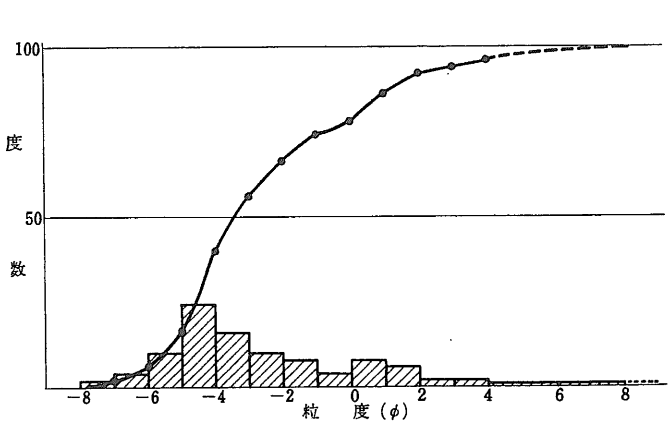
篩目の寸法 (mm)	相当する φ 値	篩目の寸法 (mm)	相当する φ 値
100	−6.64	15	−3.91
80	−6.32	10	−3.32
60	−5.91	5	−2.32
50	−5.64	2.5	−1.32
40	−5.32	1.2	−0.26
30	−4.91	0.6	+0.74
25	−4.64	0.3	+1.74
20	−4.32	0.15	+2.74

二峰性の粒度度数分布

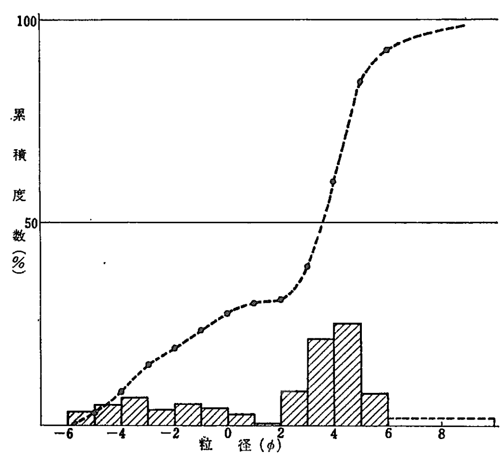
第5図は 基質の多い礫岩の粒度組成の1例です. このヒストグラムには 2つの山が現われています. 度数分布曲線を作っても 2つの山が並ぶはずで 高い方の山頂を主モード（または第一モード） 低い方の山頂を第二モードと呼びます. そして このような度数分布を 二峰性の度数分布（双峰性度数分布 bimodal frequency distribution） 山が三つ四つになれば 多峰性（polimodal） 普通の山一つ型は 一峰性（単峰性 unimodal）の度数分布といいます. 第6図は 多峰性分布が多いといわれる氷河の堆積物ティル（glacial till）の粒度分析結果から 三つの峰のある例をとってヒストグラムにしたものです. これはアメリカのニューヨーク州のティルです. 累積度数曲線が中間で少しでも波打っていれば 必ず二峰性や多峰性分布なのです. ヒストグラムだけでは弱い第二・第三のモードに気付かないでしまう恐れがあります. 第5図の礫岩も 3から5φ の付近に第3の山をもっているのかも知れません.

なぜ 山がいくつもある変な粒度分布を とりあげて話しはじめたかと言いますと 実は **礫岩では 二峰性が多数派** 一峰性が少数派だからなのです.

二峰性の粒度組成の礫岩では 主モードの粒径が第二モード（砂の粒度にある）より 4φ か 5φ マイナス寄り



第5図 二峰型度数分布の例



第6図 ティルの多峰型粒度分布の例
Kaiser, (1962) の資料によって作図

にあることが多いといわれております． 含礫砂岩や含礫泥岩に近いものでは 礫が第二モード 砂や泥が主モードになっていきます． また 二峰性・多峰性の粒度分布では 必ず大きな淘汰係数（後述）が算出されますし 中央粒径が主モードの級と大分くい違ったところにあるものです． 二峰性・一峰性・多峰性の変化が作り出される原因については いろいろな観点から考察されていますが 原因を解析する手段は まだ 確立されておりません． この原因に関する議論は 礫岩をしらべた結果の解釈を説明するときに触れることにいたします．

ときには 原因がはっきりわかることがあります． それは 二つに分けたがよい層を区別しないで試料を採取してしまった場合 1個所からの試料採取量が少ないのにランダム採取の個所数を多くしなかった場合 誤差の出方が違う選別方法を組み合わせて測定した場合 こんな場合の二峰・多峰の粒度分布は 創造主の意志でなく 粒度分析したあなたの意志にしたがったものかもしれません．

粒度組成の代表値

さて 粒度分布を表わす図表は うまくできました． しかし いちいち図表を添えたり たくさんの粒度分布を図表によって見くらべたりするのはたいへんです． ですから 普通は 粒度分布を短的にしめす数値をいくつか使って 堆積物の粒度組成を記載しておきます．

砂や泥もふくめた堆積物の粒度分布は ずいぶん古くから研究されていましたから このような数値にはいろいろの種類があります． そして これらの値は たいてい統計学の知識を背景にして作られていますが 内容が違うのに同じ名前で呼ばれていたり 普通の統計用語にない名称を付けられていたりしておりますから 文献を見るとき錯覚を起こさないようご注意下さい．

ここでは よく使われる値について 計算用の式や図表との関連を加えて 解説します．

中央粒径（median diameter, median；使用記号 Md, d_{50}, とくに ϕ 値で示したことを表現して $Md\phi$, ϕ_{50}）

累積度数が50%をとおる位置の粒径のことで 何mm 何cmあるいは何 ϕ と書き表わします． 前述のように累積度数曲線上に現われ また後述のように累積度数から近似的に計算することができます． 堆積物の粒度に関する代表値として 最もよく使われる値で粒度分析をしたら 必ず値を記載して下さい．

モード（最頻値 最頻粒径 mode；略号 M_0）

度数分布曲線の山の頂点に当る点をさします． したがってその粒径と百分率で示されるわけです． 度数分布曲線を作れば簡単にわかるほか 累積度数曲線に対して引いた接線の接近する側が 入れかわる点が この点になります． また 後述の方法で近似値が計算できるのです． なお二峰性・多峰性の度数分布の場合にはその最も高い山を主モード 二番目に高い山を第2モード 三番目を第3モード‥‥と呼びます． モードはヒストグラムで 両隣の級より高い度数をもつ級（凸出した柱の区間）の中にふくまれることが多いですから その最頻度の級の粒径中央値が モードの粒径の代用に使われることがあります．

モードに関係する値は 代表値として中央粒径ほど重視されていませんが 実際に堆積物を見た感じとよく合いますし その堆積物の挙動の中心人物ともいえますから モードを出さないときはモードの近似値でも モードを含む級でも記載するようにいたしましょう．

ファイ平均粒径*（平均粒径 Phi mean, logarithmic mean, mean；$M\phi$）

粒度分布が 1から n までの級にわたっているとき ある i という級の相対度数（含有率）あるいは総重量か総体積を pi その級の ϕ 中央値（たとえば 境界値が -4ϕ と -3ϕ なら -3.5ϕ）を di で表わしますと 次の式で計算できます．

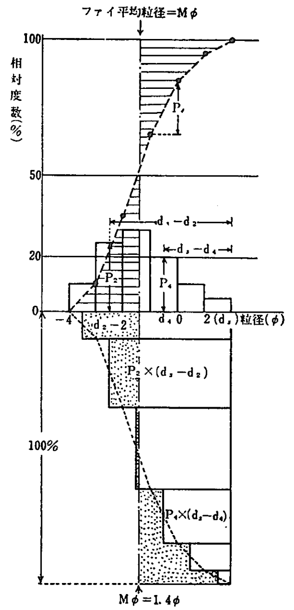
$$M\phi=\frac{\sum_{i=1}^{n} pi\,di}{\sum_{i=1}^{n} pi}$$

$$=\frac{p_1d_1+p_2d_2+\cdots\cdots+pidi+\cdots\cdots+pndn}{p_1+p_2+\cdots\cdots+pi+\cdots\cdots+pn}$$

この式は 統計学の重量分布の概念から作られるのですが やさしい説明が思い浮かびません． ごく普通の相加平均に結びつけることをお望みなら「i という級に k 個の粒が属していて それらの粒径を平均した値が di となる． ほかの級の総体積と比較するために ある一定体積の粒の個数に換算すると pi 個に当る． この意味で i の級は大きさ di の粒 pi 個から成り立っている」と決めこんで下さい． すると この pi が i 級の総重量や総体積あるいは i 級の含有率で代用できることにもなります． pi に含有率を入れたときは $\sum_{i=1}^{n} pi=100$ です． 第5図の例で 説明しましょう． この図では ϕ 値 -4 から 2 までの間に 全部の粒がふくまれています．

$$M\phi=[10(\%)\times-3.5(\phi)+25\times-2.5+30\times-1.5+20\times-0.5+10\times0.5+5\times1.5]\div100(\%)=-1.4(\%)$$

と計算して $M\phi$ が -1.4 と出ました． 今粒径が最



第7図　ファイ平均粒径の図解

小の級の小さい境界の ϕ 値を ds としますと

$$M\phi=\frac{\sum_{i=1}^{n} pi\,di}{\sum_{i=1}^{n} pi}$$

$$=ds-\frac{\sum_{i=1}^{n} pi(ds-di)}{\sum_{i=1}^{n} pi}$$

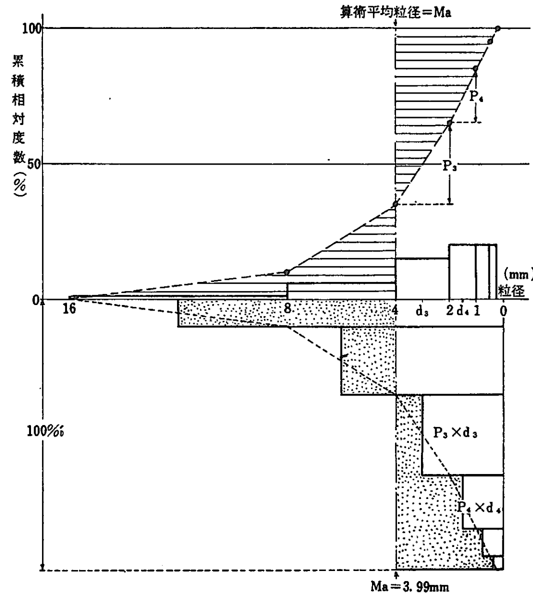
となりますから　この計算過程を　第7図の下半部のように　図形に関係づけることができます.　$(ds-di)$は 2ϕ の位置から各級の中央までの間隔に当りますから　$p_1(ds-d_1)$, $p_2(ds-d_2)$‥‥の矩形の合計面積 ds を隅にした100％分が1辺の矩形に割り振ったら　その矩形のもう一辺の隅が Mφの値を示すという具合です.　ところが　この矩形の面積は　図の上半部に描いた累積度数曲線（折線にしてありますが）の下の面積と　ほとんど同じなのです.　したがって　−1.4φ の縦線と累積度数曲線の間にはさまれる部分は両方の交点の上側と下側とで等しい面積をもつのです.

こうして計算された平均値は　明らかに　粒1個当りに平均された粒径の値ではありません.　仮に　この図の例で　各級の百分率と中央値粒径から各級の理論上の個数比を出して　粒1個当りに配分される粒径を計算しますと　約 1.3φ とごく小さい粒径になります.　含有率は低くても微細な粒の級には　無数個の粒がふくまれているのですから　粒度分布に普通の相加平均を適用する意義は薄いのです.　粒度分布を代表する値は　1個1個の礫や　1粒1粒の砂の個性に対応するものでなくて粒子の集団がもっている性質を強く反映するものであってほしいのです.

ファイ平均粒径は　真の粒度分布をよく反映している累積度数曲線と　密接な関係をもっていますから　粒度分布を解析する上には　**一番重要な平均値**　といえましょう.　中央粒径につぐ　大切な値として記載されることをおすすめします.

算術平均粒径（平均粒径, arithmetic mean, mean, Ma, M）

ファイ平均粒径（も広義には算術平均値の仲間です）と同じ式で　各級の di に　級の上限・下限の mm 直径



第8図　算術平均粒径の図解

の相加平均を入れて計算した値です.　級の中央値としてたとえば　−3φ と −4φ の間ならば (8+16)÷2=12 (mm) を使うのです.　第5図の例を計算しますと

$$Ma=(10(\%)\times12(\mathrm{mm})+25\times6+30\times3+20\times1.5+10\times0.75+5\times0.375)\div100(\%)=3.99375(\mathrm{mm})$$

になります.　そして　第7図の横軸を等間隔目盛に変えて記入した第8図に　ファイ平均粒径が第7図に対応したと同じ関係で　関連づけられます.

算術平均粒径は　各級内の粒度分布をmm直径について均等であるとみなして計算されています.　この中央値のとり方が　ごく普通の級別の度数分布の算術平均と同じなので　この理由から　ファイ平均値より　こちらが算術平均値の正統派だと看板を掲げているのでしょう.

幾何平均粒径（geometric mean; Mg）

普通　何個かの測定値などを掛け合わせて積をつくりその積を　その個数と同じ乗数の根に開いて　幾何平均にしますが　粒度分布の幾何平均は　次の式で求めるのです.

$$Mg=\sqrt[\sum_{i=1}^{n}]{d_1^{p_1}\times d_2^{p_2}\times\cdots\cdots\times di^{pi}\times\cdots\cdots\times dn^{pn}}$$

ただし　di は i 級の mm 中央値粒径 pi は i 級の百分率または総量　pi が百分率であれば $\sum_{i=1}^{n} pi=100$ になる.　ファイ平均粒径のときと同じく　i という級に大きさ di の粒が pi 個属していると考えて　式の形を頭に入れて下さい.　この計算は常用対数表を使って計

算します． 第5図の例は つぎのようになります．

$$\log Mg = (\log 12(\mathrm{mm})\times 10(\%) + \log 6\times 25 + \log 3\times 30 + \log 1.5\times 20 + \log 0.75\times 10 + \log 0.375\times 5)\div 100$$
$$\fallingdotseq (1.0792\times 10 + 0.7782\times 25 + 0.4771\times 30 + 0.1761\times 20 + \bar{1}.8751\times 10 + \bar{1}.5740\times 5)\div 100 = 0.44703$$
$$Mg \fallingdotseq 2.799(\mathrm{mm})$$

インマンの Phi Mean Diameter（略号：$M\phi$）

Inman, D.L.（1952）が流行させた値で

$$M\phi = \frac{1}{2}(\phi_{16}+\phi_{84})$$

すなわち 粒度図表上での16パーセンタイルの ϕ 値（$\phi_{16}=P_{84}$）と 84パーセンタイルの ϕ 値を 相加平均した値です． 第5図の例は

$M\phi = \{-2.7\phi + (-0.1\phi)\}\div 2 = -1.4\phi$ となります

最大粒径・最小粒径（maximum grain size; d_{max}, ϕ_{max} minimum grain size; d_{min}, ϕ_{min}）

名前の通り 試料中の最大の粒の直径と 最小の粒の直径のことです． 必ず記載しなければならないことはありませんが **粒度分布曲線の始点と終点** を決定してくれるので大切な値です． そしてこの2つの値が たいへんおおざっぱにその堆積物の粒度分布の情報を提供していることにもなるのです． ただし 最小粒径は 非常に微細なとき 確認することができません． 最大粒径は よく記載されていたり 解釈の手がかりに使われています．

淘汰係数（**淘汰度**, Sorting coefficient, So）

現在 淘汰を表わす数値の代表的なものとして 一番よく使われているものです． 式でかけば

$$S_0 = \sqrt{Q_3/Q_1}$$

この式で Q_3 は前述したように 粒度の相対度数（%値）を粒度の（mm直径で）大きた方から累積した場合の25パーセンタイルのmm直径値． Q_1 は同じく75パーセンタイルの直径値 すなわち $Q_3>Q_1$ です． 第2図の例を計算しますと

$Q_3 = -4.52\phi \fallingdotseq 22.94\mathrm{mm}$

$Q_1 = -0.85\phi \fallingdotseq 1.80\mathrm{mm}$ ですから

$S_0 \fallingdotseq \sqrt{12.7} \fallingdotseq 3.56$

となります． この値が Krumbein & Pettijhon(1938) では geometric quartile deviation（幾何四分位偏差）; QDg と呼ばれています． ところが Sorting coefficient の名称を作った P.D. Trask (1932) 氏は 25パーセンタイルの方を Q_1 75パーセンタイルを Q_3 とおいて $S_0=\sqrt{Q_1/Q_3}$ という式でこの値を表わしていたのです．

大きい四分位粒径を小さい四分位粒径で 割った値の根が この淘汰係数だと覚えて下さい．

砕屑性堆積物全般については S_0 の値が2より小さいくらいなら 淘汰のよい方 4より大きいくらいなら 淘汰が悪い方に属するといわれていますが 礫岩については どうなるでしょう． 淘汰度はぜひ計算して 記載しておきましょう．

対数淘汰係数*（$\log S_0$）

前の淘汰係数の対数で 淘汰の程度を示すこともあります． 計算過程を式にすれば $\log S_0 = \frac{1}{2}(\log Q_3 - \log Q_1)$ なので 実質的には $S_0=\sqrt{Q_3/Q_1}$ 式で計算した S_0 の値の対数を出していますが 対数表を引いて Q_3 と Q_1 の mm 直径値の対数を見つけ 両方の差を出して2で割れば この値が出せるのです．

第2図の例の $\log S_0$ は 約0.55になります．

この式は次の算術淘汰係数の式と格好が似ています． ですから 粒径を ϕ の単位で 等間隔に目盛った図表は もちろん 他の対数目盛の図表に入れた場合 その実際の間隔が 算術淘汰係数に対応してきます． この値は淘汰度を解析するときに使いやすい値です．

（算術）淘汰係数*（淘汰度 （算術）四分偏差 arithmetic quartile deviation）

算術淘汰係数とは 今私が前の項の淘汰係数と区別するために付けてみたことばです． 一般にこれも 淘汰係数（S_0）と呼ばれています． これは普通の度数分布の四分偏差を計算するのと同じ方式で求める値で Krumbein & Pettijhon (1938) は arithmetic quartile deviation (QD_a) と書いています． 前の項の淘汰度ととり違えないように ここでは S_{0a} と示しておきましょう． この式は

$S_{0a} = \frac{1}{2}(Q_3 - Q_1)$ （Q_3, Q_1のとり方は前と同じです）

第2図の例の S_{0a} は 約10.6(mm)となります．

この（算術）淘汰度も 簡単に計算でき 直感とよく符合しますから 比較的よく使われています． 直感的には その粒度分布全体を 中央粒径（すなわち50パーセンタイル）を境にして2つの部分に分けたとすれば その両部分の中央粒径にあたる Q_3とQ_1との隔たりに結びつけて理解されるのです．

Phi Deviation Measure（$\sigma\phi$）

Inman (1952) が 粒度分布の分散の大勢を知るのに適した値として提起したもので 内容は 次の式で示されます． （インマンの ϕ_{84} は 粒度分布の累積度数84

%位置のφ値)

$\sigma\phi=\frac{1}{2}(\phi_{84}-\phi_{16})$

第２図の例は $\sigma\phi \fallingdotseq \{0.65-(-4.9)\}\div 2 \fallingdotseq 2.77$ となります.

この式は　算術淘汰係数の式と同じ形ですが　φ値を入れてありますから　ファイ目盛の横軸を使った図表での16パーセンタイルと84パーセンタイルとの間隔の大小を　はっきり連想させてくれます.　この値も淘汰係数・淘汰度と呼ばれていますが　インマンの淘汰係数　インマンのファイ淘汰度などといって　ほかの淘汰係数と識別できるように使って下さい.

歪度(わいど) (shewness, Sk)

粒度分布についての歪度という値は　中央粒径 (M_d) に対する Q_3 と　Q_1 に対する Md との比を比較する値で　式では

$$Sk=\frac{\frac{Q_3}{Md}}{\frac{Md}{Q_1}}=\frac{Q_1Q_3}{Md^2}$$

(Md, Q_1, Q_3, は *mm* 直径値) で示されます.

第２図の例を計算すると　約0.34となります.

この式からもわかるように　Sk は　$Q_1Q_3>M_d$ ならば　１より大きい値　$Q_1Q_3<M_d^2$ ならば１より小さい値（小数）が算出されるものです.　この歪度は　次の手順で図解できます.　第９図を見て下さい.　横軸に普通の目盛りが入れてあり　その上側に累積曲線があります.　累積曲線から　Md, Q_3, Q_1　を求めたら横軸の右端から下へ向って作図用縦軸を引いて　Q_1 と Md の長さで Q_1', Md'　の点を作ります.　すると　$Q_1Q_3:M_d^2$ は (0,0), 0, Q_1'), (Q_3, 0), (Q_3, Q_1') の４点を隅にした短形の面積と (0, 0), (0, Md'), (Md, 0), (Md, Md') の４点を隅にした正方形の面積の比に当ります.

そこで　Q_1' と横軸上の　Md 点　Md' と横軸上の　Q_3 点を結んで２本の線を引きますと　この２本の線が平行ならば　Q_1: Md=Md: Q_3　すなわち　$Q_1Q_3=Md^2$　２本の線が下開きの斜交関係（交点が横軸より上にある）ならば　$Q_1Q_3<Md^2$ 上開きなら $Q_1Q_3>Md^2$ の関係に対応することになります.

またこの矩形と正方形の面積の違は　図でみると　斜線を入れた　２つの矩形の面積の差によっていることがわかります.　すなわち (Q_3-Md)Q_1 と ($Md-Q_1$)Mdの値が等しければ　$Q_1Q_3=Md^2$ なのです.　したがって　(Q_3-Md) すなわちQ_3 と Md の間隔と ($Md-Q_1$) すなわち Q_1 と Md との間隔が等しいときは　正方形の面積 (Md, Md') が矩形の面積 (Q_3Q_1') より Md/Q_1だけ大きいことも図上で納得されましょう.

こうして　作図してみると　横軸の目盛り方を変えてもっと単純な関係にできないだろうかと思われます.　そのうまい目盛り方はやはり対数尺度です.　**ファイ尺度で作られた図表上では**　Q_3 と Md との間隔が Q_1 と Md との間隔に等しければ　$Q_1Q_3=Md^2$　となっているのです.　そして Md を中心にして Q_1 より Q_3 の方が遠く離れていれば $Q_1Q_3>Md^2$　Q_1 が遠ければ　$Q_1Q_3<Md^2$ となってきます.

それでは　式にも対数を使ったら　どうでしょう.

$\log Sk=\log Q_1+\log Q_3-2\log Md$

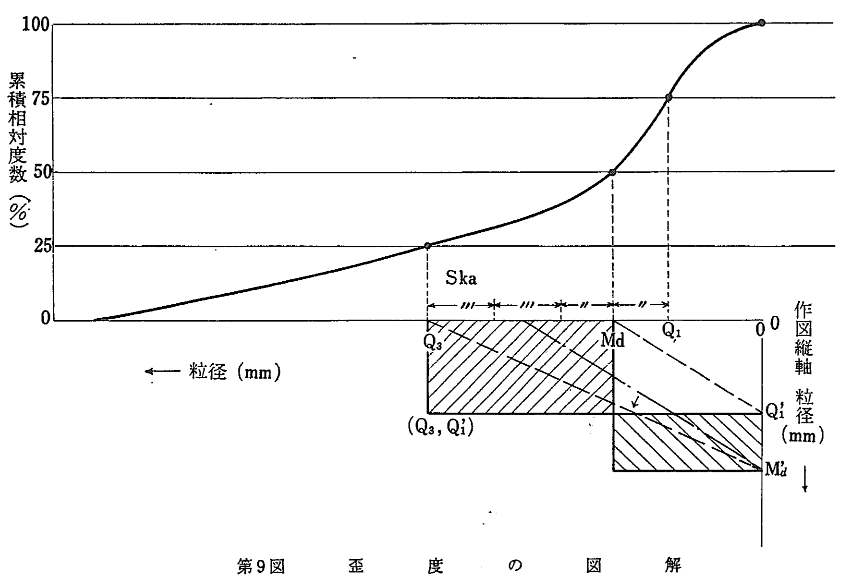
となって　対数表を使って　簡単に計算できるばかりでなく　前の式の　１より大きい値がプラス　小数になる値がマイナスの数になって　見分けやすい形になります.　10を底にした **Sk の対数**　すなわち $\log_{10} Sk$ は　歪度の便利な表現として使われています.

また　**Sk の平方根で**　歪度をしめす方法も使われることがあります.　Krumbein & Pettijhon (1938) は geometric skewness (Skg) と呼んでいます.

式では　$Skg=\sqrt{Q_1Q_3/Md^2}$ です.

（算 術）歪 度*(arithmetic skewness, Ska)

計算しやすく　感覚に符合する値ですので　前の歪度



第9図　歪　度　の　図　解

に次いで　よく使われています．　式は

$$Sk_a=\frac{1}{2}(Q_1+Q_3)-Md$$

$$=\frac{1}{2}(Q_1+Q_3-2Md)$$

第２図の例では　約2.17の値をとります．

これは　頭の中に　粒度の横軸を描いてみられると

Q_1～Md の間隔 ＜Q_3～Md の間隔　ならば　プラス値

〃　　＝　　〃　　ならば　零

〃　　＞　　〃　　ならば　マイナス値

ということが　おわかりでしょう．　前の log Sk のように　プラス・マイナスの変化が付いて楽しい値です．

なお　この式にファイ尺度の Md, Q_1, Q_3 を入れて計算した値を使うことがあります．これが Phi-skewness (Krumbein & Pettijhon, 1938) です．　この値は　ファイ尺度で度数分布を入れたとき　直接　横軸上に作図して読みとれる利点があります．

尖度(せんど)(peakedness, kurtosis; K)

この値は　Q_3, Q_1 のほか　90パーセンタイルと10パーセンタイルの *mm* 直径 (P_{90}, P_{10}) を使って　次の式で計算されます．

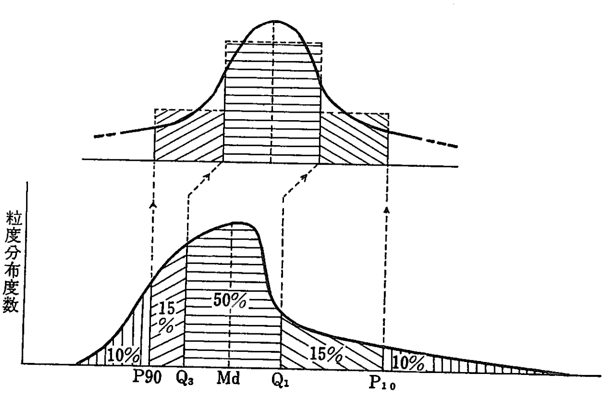
$$K=\frac{\frac{1}{2}(Q_3-Q_1)}{P_{90}-P_{10}}=\frac{Q_3-Q_1}{2(P_{90}-P_{10})}$$

第２図の例のＫは

$$K\fallingdotseq\frac{1}{2}(22.94-1.80)\div(39.40-0.25)\fallingdotseq0.316$$

の値をもっています．

尖度は　図形的に　粒度度数分布曲線の形と関連する値です．　ただし　試料の本当の姿が　第10図の下側の度数分布曲線であるとしても　その左右の違いは　この数値に反映される余地がないのですから　「Ｋの値は試料の度数分布を　この上側のヒストグラムとして扱っていて　Ｋの値から平均的に推定される度数分布曲線はそのヒストグラムに合った吊鐘型の曲線だ」といえるのです．　結局　Ｋの値は　P_{90}, Q_3, Q_1, P_{10}で仕切られた左右対称のヒストグラムで　高い柱が低い柱からそびえている程度や吊鐘のスロープの緩急の程度に結び付く値なのです．



第10図　粒度組成の尖度の説明図

歪度・尖度についての注意

これまで説明した歪度・尖度は　実は　統計学の専門語をことばだけ借りて使っているものです．　決して粒度分布用の歪度・尖度を　統計学の分散の概念からオーソドックスに　モーメント解析を行なった値と　とり違えてはなりません．　累積度数のわずかなパーセンタイル値をもとにして　似たような効果を出させて　大勢を知ろうとしているに過ぎないのです．

もう少しくわしく説明しますと　尖度については第10図で説明したような効力の限界があります．　歪度についても　この値が　Md, Q_3, Q_1 だけをもとにして導かれていますから　歪度の種類にかかわりなく　実際の粒度分布を　Q_3, Md, Q_1 を境にした２本のヒストグラムの棒に置きかえて　２本の棒での粒径間隔に対する度数の平均密度に関係する値を比較しているだけだ　といわれてしまいそうです．　いいかえれば　中央粒径位から両側の四分位までの度数分布の変化がモデル的に推定できるとしても　モードの位置との関係やスロープの性質を実質的に指示するまでの神通力はありはしないのです．

結局　歪度や尖度は一つ一つの堆積物の粒度分布をくわしく解析するためのものではなく　むしろ　淘汰係数と同様に　いろいろな堆積物の粒度分布の状態を　おおまかに　比較するための目安であるといえましょう．また　このような便宜的手段で　粒度分布の状態をとらえようとするのは　砕屑性堆積物の粒度分布が相当複雑なので　その分布を本格的に解析することが　むずかしいせいでもありましょうか．　しかし　礫岩などを粒度分析されたら　粒度分布の歪度や尖度も計算して　データ間で比較してみられることをおすすめします．

パーセンタイル粒径の近似計算

累積点を曲線で結ぶかわりに　直線で結んだとして計算すれば　知りたいと思うパーセンタイル粒径・中央粒径・四分位粒径の近似値が求められるはずです．　第11図でおわかりのように　相似三角形の関係を使って計算式を作りました．

$$D=d_1+\frac{P-p_1}{p_2-p_1}(d_2-d_1)$$

P：求めたいパーセンタイル

D：Pパーセンタイルの ϕ 粒径

d_1：Pを含む級の下限の ϕ 粒径

d_2：Pを含む級の上限の ϕ 粒径

p_1：Pを含む級の下限の累積相対度数

p_2：Pを含む級の上限の累積相対度数

この式を使って　第1図の例を計算してみますと

$$d_{10}=-5+\frac{10-8.8}{26-8.8}\times\{-4-(-5)\}\fallingdotseq-4.93(\phi)$$

$$d_{25}=-5+\frac{25-8.8}{26-8.8}\times\{-4-(-5)\}\fallingdotseq-4.06(\phi)$$

$$d_{50}=-4+\frac{50-26}{52.3-26}\times\{-3-(-4)\}\fallingdotseq-3.09(\phi)$$ となります

また　第2図を計算した値は　$d_{25}=Q_3\fallingdotseq-4.52\phi$　$d_{50}\fallingdotseq-3.28\phi$　$d_{75}=Q_1\fallingdotseq-0.83\phi$　となって　累積曲線によって図上で出した値と少し違います．　この差は第11図からもわかるように　累積曲線が凹型のところでは　近似値が真の値よりφのマイナス寄りになり　凸型ではプラス寄りになるために起こるのです．　中央粒径に対しては　一般に　前後の累積曲線が直線に近いのでよい近似値が求められます．

このような計算法を利用すれば　粒度分布の図表を作らなくても　累積相対度数から直接必要なパーセンタイル値を求めて　種々の代表値を概算することができます．

粒度の簡略測定

粒度組成を　本格的な粒度分析から求めるのは　なかなかたいへんなものです．　そこで　粒度分布を近似的にとらえる方法や　なにか粒度分布を代表するような値だけを　求めることを考えたくなります．

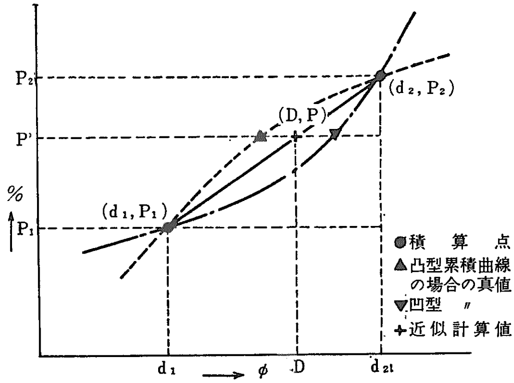
礫の中径を測って粒度分布を推定する方法

Emery (1955) という人が　カリホルニアやメキシコの海浜の礫をしらべたときに　考え出した手段です．　エメリーさんは　まず　直径 2cm から 13cm までの礫を約700個ふくんだ1個所の試料を　だいたい 0.25φ ごとの級に分けて　その重量百分率　体積百分率　中径から推定した体積百分率を出して　その違いを比較しました．　すると第2表のような違いがあったそうです．

第2表　Emery (1955) の礫の中径測定例

	中径からの推定体積比による	測定体積比による	測定重量比による
最大度数の級 (φ)	−6.25〜−6.50	−5.75〜−6.0	−5.75〜−6.0
中央粒径 (mm)	62.0	58.5	60.0
Q_3 (mm)	78.5	75.5	76.0
Q_1 (mm)	46.5	44.5	45.0
淘汰係数	1.30	1.30	1.30
歪度	0.95	0.98	0.95

ここで中径から体積を推定するのには　中径がその級に属する礫の個数とその級の中央粒径を直径とした球の体積を掛け合わせた量を使っています．

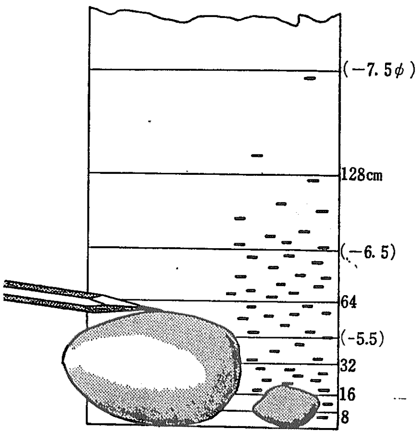


第11図　パーセンタイル粒径の近似計算

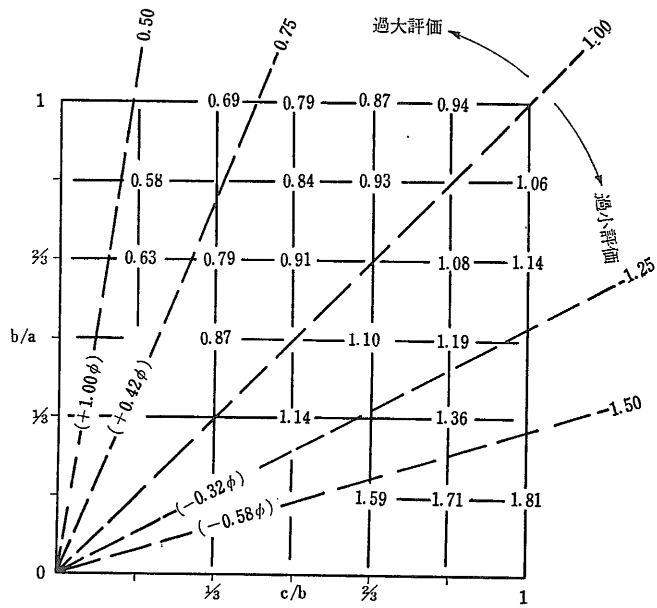
この結果は　たしかに差をもっています．　しかしその相対差は数％以内ですから　よく合っているといえましょう．　広い海岸の1個所からサンプルをとって広い地域を代表させせようとする場合など　すぐ隣のサンプルでも　これ以上の差をもっている　と思われます．「これは　いいぞ」　と思ったのでしょう．　エメリーさんは　さらに　中径の測定をしながら　その度数分布表を作っていく方法を考案しました．　つまり第12図のように 3×5 インチや 4×6 インチカードの上に礫をのせ　カードの端からその中径分だけ内側のところに鉛筆で　しるしを入れる作業をしたのです．　そして　カードに全部の礫の中径のしるしが付いたところで　0.25φ ごとの区画の中に入っているしるしを数えて　その度数分布を出しました．　この方法を使えば　巨大な礫でも簡単にこなせるし　30分間に　200〜500個という手選としては　すごいスピードで試料を測定してしまえるとエメリーさんはいっています．　同じ労力で正規に粒度分析するよりも　ずっと多くの地点の資料が作れることになります．

ここで　この方法を別の面から吟味してみましょう．　すなわち　この方法が　どんな形の礫に適当で　どんな形の礫には適さないか　という点です．　礫をいろいろな形の3軸だ円体にみたてておいて　だ円体形の礫の名目上の直径（同体積の球の直径）と　そのだ円体形礫の中径が　どのくらい　くい違うかを計算してみます．

計算の結果　第13図ができました．　とくに　円盤状の礫に気をつけろ．　次に棒状礫に注意せよ．　このような形の礫が多かったら　0.5 ないし 1φ くらいの誤差をもったものが相当含まれているとみなければなりません．　しかし　評価のずれが少ない範囲の形状の礫にはよい成果があがるはずですし　先回説明した篩分けと組み合わせて選別を行なっても　かなり円満な結果が出せそうなのです．



第12図　K.O. EMERY の中径記録法
(Emery (1955) によって作図)



第13図
Emery の中径測定法の補正
a:　だ円体形礫の長径
b:　〃　中径
c:　〃　短径
d: だ円体形礫と同体積の球の直径
図中の数値：$\frac{b}{d}$ ＝測定mm径に対する誤測率　図中の（数値）：補正φ数

最大径を記録すること

最大径の測定値（d_{max} などの記号が使われる）は礫層や礫岩の粒度の記載としてよく使われています．これには 次の２種類の意味が含まれているのです．

第一は その礫質堆積物の **王様の最高性** を使う立場です． 王様である最大の礫の大きさは 水成の礫質堆積物が水の流れなどによって動かされ 集められ・選び残されたのだろうと考えたとき 水流の強さや水流の性質に関係をもつ営力のある最大値を反映したり あるいは礫が作り出され・破壊される過程を考えたとき 大きい礫が生まれ 存続する最高条件を現わしているだろうと期待できます． 王様の記録には 大きさだけでなく岩石の種類や形状も必ずそえましょう．

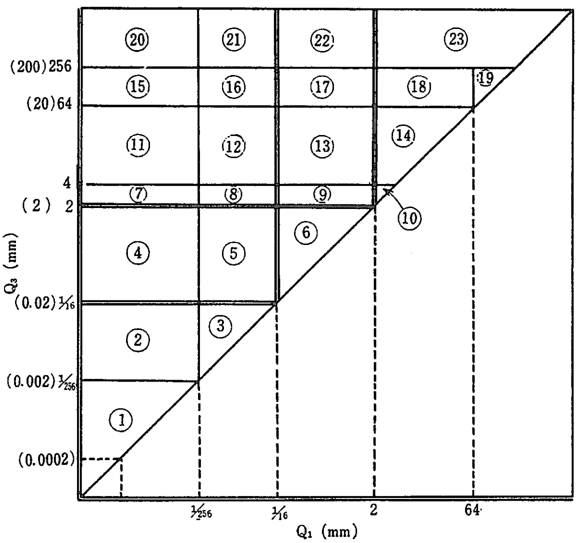
第二は キャプテンを見て その **チームの強さ** を判断しようとするやり方で チームの各メンバーの実力はキャプテン以下だが キャプテンよりそれ程弱くはないという 一般の傾向を判断の基礎において その堆積物の粗さの程度を推定するものです． 普通の礫質堆積物では 最大礫が入る級より −2 ないし −4φ 小さいところに最頻度数の級がくることが多いのです． ただし基質が多いものや 淘汰の低い異常なものでは 10φ 前後も離れていますから 外野の弱いチームをうまいキャプテンから判断するような 誤算が起こることも覚悟しておかねばなりません．

ここで **最大礫の具体的意味** について考えておきましょう． というのは 最大礫とは 本来その堆積物全体を通じての唯一の王様をさすことばですが この王様が崖に露出しておられなければ あるいは 掘り取った試料の中に入っておられなければ われわれは露出でみられる範囲での一番大物から王様を推測しなければならないのです． すなわち 統計的概念からいえば ランダムに採取した各試料ごとの d_{max} は求められても 試料から推定しようとする堆積物全体中の唯一物である d_{max} を確認することは 不可能だということです． ですから測定した中での最大径と 対象全体中の最大径とが 違うことを忘れないようにしましょう．

真の最大径が 求めにくいという問題をさけて 王様そのものでなく 大物たちの大きさをとらえて 粒度に関する一種の代表値を求める方法を考えた人があります

中山正民（1952）氏は 川の礫の大きさが上流から下流へ変化するのを とらえる目的に 大礫の平均体積を使うという方法をとって よい結果を出しています． **この大礫の平均体積** という値は 川の主流線に沿って 幅 50m 延長 100m くらいの範囲から 目立って大きな礫約50個をとり それぞれ測定された長・中・短径をもつだ円体とみなして体積の近似値を求め そのうち大きい方から 30個の礫を選んで それらの近似体積を算術平均した値のことです． この方法は礫岩や礫層の観察にも応用できる妙手だと思います．

最大径は 粒度に関する値のうちでは 一番簡単に測定できるのですから 短時間の野外観察の際にも せめて最大径ぐらい測っておこうという努力をして下さい． また堆積物を粒度分析したときには はじめに述べた最



第14図　F.J. Pettijhon が改訂した J. Niggli 流の粒度組成分類 (Pettijhon, F.J. (1957) および Niggli, P.・Niggli, E (1952) によって作成

①：Clay　②：Clayey silt　③：Silt　④：Clayey sand　⑤：Silty sand　⑥：Sand　⑦：Clayey granules　⑧：Silty granules　⑨：Sandy granules　⑩：Granules　⑪：Clayey gravel　⑫：Silty gravel　⑬：Sandy gravel　⑭：Fine gravel　⑮：Cobble clay　⑯：Cobble silt　⑰：Cobble sand　⑱：Cobble gravel　⑲：Coarse gravel　⑳：Boulder clay　㉑：Boulder silt　㉒：Boulder sand　㉓：Boulder gravel
①+②+③：Lutite　④+⑤：Lutaceous arenite　⑥：Arenite
⑦+⑧+⑪+⑫+⑮+⑯+⑳+㉑：Lutaceous rudile　⑨+⑬+⑰+㉒：Arenaceous rudit　⑩+⑭+⑱+⑲+㉓：Rudit
( )：Niggli が使った境界値

大径の第二の意義が　その堆積物の性格を表現すること に逆用できるかもしれませんから　最大径そのものをとらえておかれよう　おすすめします.

礫の部分だけ粒度分析すること

礫岩の粒度分布をしらべると　二峰性や多峰性の分布型をもっているものが　ずいぶん多いといわれています. 細粒部分に関係のない課題を研究するときや　あるいは礫層を採掘して利用するのに　その中の礫だけの粒度組成を知りたいときには　試料の中から礫だけ分離したりあるいは　二峰型のはじめの一峰にあたる部分だけをとったりして　粒度分析の対象にすれば　直裁な資料がつくれます.

この方法は　一般に基質の多い礫岩や含礫の砂岩・泥岩中の礫を調べるのに　便利な方法となるでしょう.

粒度による礫岩の分類

1個1個の礫は　その大きさを比較する方法を決めさえすれば　あとは大きさだけで　幾つかに組分けしたり名前を付けたりすることができました.　ところが礫岩を粒度によって組分けたり　名付けたりすることは　古くから多くの人が知恵をしぼっていますが　たいへんむずかしいのです.　それは本質的には粒度分布の違いによって分ける　いいかえれば　粒度の大きさという要素と　大小の粒の分布状態という要素を織合せた分類法をつくらなければならないからです.

Niggli の分類法

J. Niggli (1938) 流の分類法が　粒度組成を総合的にみる立場から　一番組織立っていると思えます. Niggli は第1四分位値と第3四分位値が　幾つかに仕切った粒度のどの区画の中に落ちるかによって　すべての砕屑性堆積物を区分することを考案したのです.　第 14 図は Niggli が以前ドイツでよく使われていた 2 を原点にした十進法尺度によって　粒度を区画していたのを　F. J. Pettijhon (1949, 1957) がファイ尺度の区画に変更して英語の分類名をつけたものです.　この方式では　たとえば　第3四分位値 (Q_3) が 100 mm で第1四分位値 (Q_1) が 0.05mmであれば　その堆積物は silty gravel と呼ばれ　Q_3 が 200mm　Q_1 が 100mm　であれば coarse gravel　というわけです.　なお　2を基準にした十進法尺度 (Atterberg の尺度ともいう) によって区分した粒度のドイツ名を　第3表に示しておきましょう.

Krynine の分類法

Krynine (1948) の分類法は　砕屑性堆積物を平均粒径で　区分する方法で　それに共存している混合物が多

第3表　2の十進法尺度による粒度のドイツ名

粒の直径 (mm)	小区分名	大区分名
200以上 20〜200 2〜20	Block Grob-kies Fein-kies	Psephite
0.2〜2 0.02〜0.2	Grob-sand Fin-sand	Psammite
0.002〜0.02 0.0002〜0.002 0.0002以下	Grob-schluff Fein-schluff Schweb	Pelite

第4表　Krynine (1948)　の　分　類　法

平均粒径	名　称	共存混合物による形容
64mm以上	boulder conglomerate	砂の含有率>20%・・・・ ・・・・sandy conglomerate 粘土の含有率>20%・・・・ ・・・・clayey conglomate
4〜64mm	normal conglomerate	
2〜4mm	fine conglomerate	
0.0625〜2.0mm	sandstone	礫の含有率>20%・・・・ conglomeratic sandstone 礫の含有率>10%・・・・ ・・・・pebbly sandstone

(この粘土は粒径0.0625mm以下の粒をさしたもの)

第5表 端成分方式の分類法

分類法の種類	堆積物の組成	名称
Wentworth (1922) の分類法	礫の含有率>80%	gravel
	礫の含有率>砂の含有率>10% その他<10%	sandy gravel
	砂の含有率>礫の含有率>10% その他<10%	gravelly sand
	砂の含有率>80%	sand
Willman(1942) の野外観察用分類法	礫の含有率>50%	gravel
	礫の含有率=25〜50% 砂の含有率=50〜75%	sandy gravel
	礫の含有率<25% 砂の含有率>75%	pebbly sand
Folk (1954) の分類法	礫の含有率>30%	gravel
	礫の含有率=5〜30%の砂	gravelly sand
	礫の含有率=5〜30%の泥	gravelly mud

い場合 その種類による形容詞を組み合わせて 分類名をつくることにしたものです. この分類法のうち 礫が関係している部分だけを 第4表にまとめました.

端成分方式の分類法

また普通質の違うものの混合物の分類に それぞれの混入率によって仕切る方法が使われますが その手法が砕屑性堆積物の分類に応用されています. このような方法は 礫・砂・シルト・粘土を端成分にみたてて行なうもので いろいろなやり方が提案されているのです. しかし厳密に4成分系を適用するのはやっかいですし また 4成分がほぼ等量づつ含まれている堆積物がまれですから 大局的におもな3成分 または2成分の混合率によって分類する方法がよく使われています. ここでは その混合率の仕切り方が現実の堆積物の分類によく合っているといわれている方法を Fork, R.L. (1954) と Pettijhon, F.J. (1957) から引用して 紹介します. 第5表は各氏の分類のうち 礫に関係が深い部分だけをまとめたものです.

礫岩・礫層から試料を掘りとって 粒度分析した場合は どの分類法による名前でも付けることができます. ただし 誤解をうけないように たとえば Pettijhon-Niggli の分類法による sandy gravel というように書いておきましょう. **唯一無二の分類法がない** ので ずいぶん不便ですが どの分類法も連続的なものに仕切りを押し込んで分類しているのですから それぞれある場合に適しても オール・ラウンドのプレイ能力をもっていないわけです. したがって 場合場合で目的に応じたあるいは分析結果がうまく整理できる分類法を選んで表現されたらよいと思います.

砕屑性堆積物は 各粒子が礫・砂・泥と区別されても元来粒の大きさが連続しているものを 多少別々に存在する傾向があることから区別しただけのことですから礫・砂・泥などを端成分にした混合物として扱いきれない性格をもっているといえましょう.

掘りとった試料の粒度分析は 実にたいへんな手間をとります. それだけに分析結果は貴重な資料ですから単に分類名をつけるだけでなく 分布曲線や種々の代表値を使って記載していきましょう. 本質的には それに礫岩という名前をつけるか 砂岩という名前をつけるかということは 重要なことではないのです. ここに述べたどの分類法も ひどいことばを使えば しらべた結果を便宜的にいい表わす役を果たすに過ぎないのです.

粒度の面からの礫岩の分類が いろいろな粒度組成を作りだした成因に結びついたものに発展していくのは粒度分析をした具体的な資料が もっと もっと豊富になってからのことでしょう.

図表やいくつかの代表値として整理された粒度組成の測定結果は ほかの観察事項と組み合わさって いろいろな問題に解釈を下す基盤となるのです. 次の機会にはこの基盤の強度を確かめておく見地から粒度分布の図表を作ることの基礎的意味について考えることにいたしましょう.

(筆者は地質部)

引用文献

Emery, K.O. (1955) : Grain size of marine beach gravels, Jour. Geology, Vol. 63, pp. 39—49

Folk, R.L. (1954):The distribution between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature, Jour. Geology, Vol. 62, pp. 344—359

Inman, D.L. (1952) : Measures for describing the size distribution of sediments, Jour. Sedimentary Petrology, Vol. 22, No. 3, pp. 125—145

Kaiser, R.F. (1962): Composition and origin of glacial till, Mexico and Kasoag quadrangles, New York, Jour. Sedimentary Petrology, Vol. 32, No. 3, pp. 502—513

Krumbein, W.C. & Pettijohn, F.J. (1938) : Manual of Sedimentary Petrography, Appleton-Century-Corofts, New York, 549 p.

Krynine, P.D. (1948) : The megascopic study and field classification of Sedimentary Rocks, Jour. Geology, Vol. 56, pp. 130—165

中山正民(1952): 河川礫の大きさの分布に関する研究, 地理学評論, 25巻, 10号, pp. 401—408

Niggli, J. (1938): Zusammensetzung und der Klassification der Lockergesteine, Schweiz. Archiv. f. angewandte Wissensch. u. Tech., Vol. 4.

Niggli, P. & Niggli, E. (1952) : Gesteine und Minerallagerstätten, bd. II, Verlag Birkhäuser, Basel, 557 p.

Pettijhon, F.J. (1949, 1957) : Sedimentary Rocks, Harper & Brothers, New York, 526 p.; 718p. (1949年初版, 1957年増補版)

Wentworth, C.K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments, Jour. Geology, Vol. 30, pp. 377—392.

Wilman, H.B. (1942) : Geology and mineral resources of the Marseilles, Ottawa, and Streater quadrangels, Bull. Ill. State Geol. Survey, 66, pp. 343—344