

礫岩・礫層のしらべ方

②

採取した試料の粒度分析

角 靖 夫

地質ニュース 151 号に この題目のその1を書きました。その1では 礫岩・礫層をしらべる意義 しらべる項目 4種の組成計測の進め方 採取した礫岩の組成を測定する手順 礫岩の組成を崖の表面で測定する手順という項目をかかげて原則的なことがらを述べたのです。今回は 掘ったり・打ち欠いだりして採取した試料を使って 粒度組成を分析する実験法を具体的に説明いたします。

粒度組成とファイ尺度

礫の大きさと粒度組成

1個1個の礫の大きさは 礫の形がさまざまですから基本的には体積で比較します。礫と同体積の球の直径(mm cm)で 原理的な名目上の粒径を表わし またその大きさによって 2~4 mmを細礫(Granule) 4~64 mmを中礫(Pebble) 6.4~25.6cmを大礫(Cobble) 25.6 cm以上を巨礫(Boulder)と呼びます。精密な粒径 原理的な粒径は 礫が排除した水の量や礫の重量と比重から 測定した礫の体積を出して求めますが 近似的には 礫を長さの違う3軸をもった だ円体とみなして 粒径 $\approx \sqrt[3]{\text{礫の長径} \times \text{中径} \times \text{短径}}$ として出すことができます。

礫の集合物-河原の礫堆 あるいは 骨材用の砂利などの礫ばかりの集合物 それに 砂・泥や膠結物などが混じった礫層の礫岩-がそなえている粗さの程度を評価するためには 統計的な概念を利用して 能率的な測定と簡潔な記載を行なわねばなりません。というのは その集合物の中の礫1個1個 砂1粒1粒について直径を求めていくことはたいへんですし その結果を 直径何cmのもの と 何cmのもの と……何mmのもの と……がと 書きならべたら終りまで読むのに何年もかかりそうだからです。

そこで 粒度分析(mechanical analysis)をする。

これは 含まれている礫・砂などを粒径に応じて 幾つかに仕分けして それぞれの区分に入るものの量をはかり それらが全体の量の何パーセントに当るかを計算する その結果 ある階級の大きさのもの何% 次の級のもの何% その次の級何%……から その礫の集合物になり立っているということ すなわち 粒度分布を求める分析なのです。この分析によって礫質堆積物

の粗さの程度がとらえられます。そして この測定結果から その集合物を作っている物質の大きさの程度や 大小の物質の混合割合などをしめす 中央粒径・淘汰度 そのほかの数値を出して その数値によって 粒度組成の値と性格を短的に代表させ ほかの堆積物とも簡単に比較できるようにするものです。普通 碎屑性堆積物の粒度組成は 礫質から泥質まで共通して 詳細には その粒度分布そのもので 要約しては 中央粒径・淘汰度 そのほかの代表値を使って 記載されているのです。

粒度の区分の仕方

今世界中の外国航路客船を配水量で幾つかに区分して どの大きさの船が一番多いかを調べてみるとします。このときは 3,000トン以下 3,000—6,000トン 6,000—9,000……30,000—33,000トン……というふうに配水量を等間隔に区切って 各区分に入る船の数を数えればたとえば 6,000—9,000トンの船が一番多くて15%あるなどと 目的に適うように調査が進行するでしょう。ところが 世界中のエンジン付きの船全部について 調べるとしますと 20万トン近いタンカーがあるかと思えば 5トンもない船があつて 前と同じ区分で調べると 3,000トン以下がベラボウに多くて 99%以上もあるのに 123,000—126,000 126,000—129,000……くらいに 船の比率は ほとんど零に近い値になってしまうでしょう。これでは詳しいことがわかりません。10トン間隔の等差級数的な区切りをつけると 今度は区切りの数が多くて 調べるのも まとめるのもとてもたいへんしかも大きい方では零せきの欄が多くなる。そこでたとえば 1 10 100 1,000 10,000 100,000トンという 10の0 1 2 3 4 5 乗に当るトン数を境にして区分してみたらどうだろうという知恵を働かせます。そうすれば大きな船の所は粗い間隔の区分で 小さい船に対しては狭い区分で数えられることになって好都合。この間をさらに細分するには10の0.5 1.5 2.5 乗などに境を入れればよいことがわかります。碎屑性堆積物の大きさと粒度も船の配水量とセキ数と同じように 等間隔の区切りではうまく整理できないのです。この問題が克服できるよう 1934年に W.C. Krumbein氏が ファイ尺度(Phi scale)という区切り方を発案しました。現在 この方法が 粒度区分と 粒

第1表 φ 値と対応する粒の直径 (mm)

φ	直径(mm)	φ	直径(mm)	φ	直径(mm)	φ	直径(mm)	φ	直径(mm)
0	1.00	-0.5	1.414	0	1.0000	-3.0	8.0000	-7.0	128.00
-1	2.00	-1.5	2.828	-0.1	1.0718	-3.1	8.5742	-7.1	137.19
-2	4.00	-2.5	5.656	-0.2	1.1487	-3.2	9.1896	-7.2	147.03
-3	8.00	-3.5	11.31	-0.25	1.1892	-3.25	9.5137	-7.25	152.22
-4	16.00	-4.5	22.63	-0.3	1.2311	-3.3	9.8492	-7.3	157.59
-5	32.00	-5.5	45.26	-0.4	1.3195	-3.4	10.5561	-7.4	168.90
-6	64.00	-6.5	90.51	-0.5	1.4142	-3.5	11.314	-7.5	181.02
-7	128.00	-7.5	181.0	-0.6	1.5157	-3.6	12.126	-7.6	194.01
-8	256.00	-8.5	362.0	-0.7	1.6245	-3.7	12.996	-7.7	207.94
-9	512.00	-9.5	724.1	-0.75	1.6818	-3.75	13.454	-7.75	215.27
-10	1024.00	-10.5	1448.2	-0.8	1.7411	-3.8	13.929	-7.8	221.46
				-0.9	1.8661	-3.9	14.929	-7.9	238.86
				-1.0	2.0000	-4.0	16.000	-8.0	256.00

径の表示に一番適しているとして 普遍的に使われています。この尺度は 球に換算した粒の直径: $d(\text{mm}) = 1/2\phi$ とおいた ϕ (ファイ)の値 すなわち $\phi = -\log_2 d(\text{mm})$ によって 目盛られた尺度なのです。 ϕ の値と直径(mm)との対応は 第1表となります。ファイ尺度で示すと $-1 \sim -2$ が細礫 $-2 \sim -6$ が中礫 $-6 \sim -8$ が大礫 -8 以降が巨礫なのです。

普通 粒度分析を実施するときは この $\phi=0 \sim -1 \sim -2 \sim -3 \dots$ の整数値の間を一つの級(区間)として扱いますが 一般に全体を 10~20余りの級に区切ると精度よく 頻度分布(=度数分布)がとらえられますから必要に応じて $\phi=0.5 \sim -1.5 \sim -2.5$ などと 細かい区切りを増加したのがよいのです。それからこのような対数による尺度で碎屑性堆積物の粒度を示せば 粒度分布が 統計学で集団の分布問題を扱うときのモデルとしてよく研究されている正規分布やガウス(誤差)分布という分布方式に近似した型をとるので 粒度分布を統計的に解析するのに便利だからでもあります。

ファイ尺度と mm 直径の換算

ϕ 値と mm 直径との換算はやっかいです。次のように 常用対数表を使って 計算できます。まず 対数表で 2(この単位を mm としておく)の仮数をさがし それに $(\phi \times -1)$ を掛け その積に対応する真数を読みとればそれが直径 mm です。たとえば

2の仮数	$\phi \times -1$ (指数)	仮数	真数: 直径(mm)
301030	2 =	602060	→4,000
〃	2.5 =	752575	→5,657
〃	5 = (1)	505150	→32.00
〃	5.25 = (1)	580408	→38.06
〃	8 = (2)	408240	→256.0

また 簡便なのは 計算尺の利用 です。計算尺の A B C D 尺など対数目盛の尺に cm 目差を合わせて たとえば 計算尺の目盛の 2 と 4 の間隔が 76mm あったとすれば 76mm が 1φ に相当する間隔 計算尺の目盛が

直径の値になるので $\phi = -1.5$ は計算尺の 2 から 4 の方へ 76/2mm 寄った位置になり 約 2.83 と読みとれます $\phi = -2.5$ は計算尺の 4 から大きい方へ 38mm 離れた所の計算尺目盛の値でわかるのです。

よく使う ϕ と直径値の関係を早見・暗算するため 私は第1表を作っています。この早見表の左側は粒度分析で普通使い級の境界の値 右側は ϕ の $0 \sim -1 \sim -3 \sim -4 \sim -7 \sim -8$ 区間の 0.1 きざみの値です。表の左側にかかげた 直径の値 d_1 に対応する ϕ の整数部分の値が n_1 で その小数部分の値が m_1 だとしめると 同じ m_1 の小数部分をもつ整数部分 n_2 の ϕ に当る直径 d_2 は

$$n_2 > n_1 \text{ のとき } d_2 = d_1 \times 2^{(n_2 - n_1)}$$

$$n_2 < n_1 \text{ のとき } d_2 = \frac{d_1}{2^{(n_1 - n_2)}}$$

として算出されます。

たとえば $\phi = -6.25$ の直径値を作るには 表にある $-3.25(\phi) = 9.5137(\text{mm})$ または $-7.25(\phi) = 152.22(\text{mm})$ から $9.5137 \times 2^{(4-3)} = 9.5137 \times 2^3 = 9.5137 \times 8 = 76.1096 \rightarrow 76.11(\text{mm})$

あるいは

$$152.22 \div 2^{(7-6)} = 152.22 \div 2 = 76.11(\text{mm})$$

と計算して 有効数を 4 桁にして使って下さい。

採取した礫の級分け

立体的に掘りとり 塊状に採取した礫層や礫岩の粒度分布を調べるときは 礫の集合物を集団として測定するので 1個1個の礫の大きさははっきり測る必要がありません。それぞれの礫の大きさがこれから区分しようとするどの階級に入るか ということだけ判定して階級別に礫を分ければよいのです。

体積・重量による礫の選別

具体的な作業としては 見たり手にもったりした感じで すぐにどの階級の礫だとわかるものは そのカンで

第2表 礫の体積・重量による階級区分早見表

直径の3乗値 (cm ³)	球にした 直径 (cm)	礫の体積 (cm ³)	礫の重量			
			直径の φ値	比重大(2.9)	比重中(2.65)	比重小(2.4)
0.008	0.2	0.00419	-1	0.012g	0.011g	0.010g
0.064	0.4	0.0335	-2	0.098	0.089	0.080
0.512	0.8	0.268	-3	0.777	0.710	0.643
4.10	1.6	2.14	-4	6.21	5.67	5.14
32.8	3.2	17.2	-5	49.9	45.6	41.3
262.	6.4	137.	-6	397.	363.	329.
2,100.	12.8	1,100.	-7	3.19 kg	2.92 kg	2.64 kg
16,800.	25.6	8,780.	-8	25.5	23.3	21.1
134,000.	51.2	70,300.	-9	204.	186.	169.
1,070,000.	102.4	562,000.	-10	1,630.	1,490.	1,350.

第3表 礫に使う標準網篩

近似の φ値		近似の 篩目の 開き(mm)		近似の φ値		近似の 篩目の 開き(mm)	
-1	2.00	-3	7.93	-5	31.7		
-1.25	2.38	-3.25	9.52	-5.25	38.1		
-1.5	2.83	-3.5	11.1	-5.5	44.4		
-1.75	3.36	-3.7	12.7	-5.7	50.8		
-2	4.00	-4	15.9	-6	63.5		
-2.25	4.76	-4.25	19.1	-6.25	76.2		
-2.5	5.66	-4.5	22.2	-6.5	88.9		
-2.75	6.73	-4.7	25.4	-6.7	101.6		

どんどん区分けしていきます。そしてどちらの級に入るのかあやしいものに行きあたったら その礫の体積か体積と密接な関係にある重量や礫の実際の径を測ってその測定値が級の境にあたる値より大きいか 小さいかによって どの級に入るかを決めます。

体積の境目は容器に礫が十分かくれる深さまで水を入れて 水面に印をつけ それから上にちょうど階級の境にあたる容積ごとに印を入れておけば 大きさ不明の礫を水の中に入れてだけで簡単に判定できます。

体積の代りに 重量を測っても ほとんど正しい判定ができます。一般的には礫の比重を2.65とみなした級の境界の重量を基準にして その境からの大小を判断のもとにすればよいでしょう。もし礫の岩質に関して精密な資料をとりたければ それぞれの礫の比重を測定して計算するか 岩石の種類によって 比重を3段階くらいに整理しておいて適用するとよいと思われます。

また礫の 長径・中径・短径を測って 掛け合せた値を級の境界の直径の3乗値と比較して 判断するのも実際には重要な方法です。この方法では 礫の形がだ円体・球体から非常にかけはなれている場合には その3乗根の値が同体積の球直径よりも30%くらい過大 また50%くらい過小に算出されますが 普通にはかなり凸凹した礫でも 直径が20%くらい過大か過小に出る程度の誤差で済みます。とにかく 物差だけで測定ができるし 礫をもちあげなくてもよいのですから 便利な手段です。とくに エース級の巨大な礫に対しては ジョーカーです。第2表にφ1.0ごとのいろいろな境界値を掲げておきました。比重の大・中・小と礫の岩石の種類の関連は 礫の比重の項を参照して下さい。

礫の篩分け

針金の網で作られた網篩を使えば 礫が大量にあっても大きさにしたがってどんどん選別できます。土木材料にする砂利はほとんどこの方法で選別されていますし 自然地理学や河川工学の分野でも 研究手段としてよく

使われています。とくに径3.2cm以下の礫を分けるとき あるいは粒度を細かく区分したデータをとりたいときには 篩分けが一番便利といえましょう。

使用する篩は 土木材料には 網目の間の幅を 100 80 60 50 40 20 10 5 2.5 1.2 0.6 0.3 0.15mm と作った骨材用の篩が使われていますが 地層の礫に対しては φ尺度の級に区分できるJIS規格の標準網篩が適しています。

この標準網篩は黄銅製の円筒型の枠に 黄銅線を方眼目に組み合わせた網をはめ込んだもので 枠の内直径が20cm(細粒な方には 7.5cm 15cmもある)枠の縁から網までの深さが6cm および4.5cm で網の下側に 次の篩との重ね合わせの枠が付いています。そして ふるい落したものを受ける深さ6cmおよび4.5cmの黄銅製受器(うけき)と ふるうときに上面を閉じておく 蓋(ふた)もあります。

網は針金と針金の間隔がφの0.25ごとの値に だいたい合うように作られています。JISの篩目の開き(Opening という 平行する針金の間隔)を 第3表・第6表(後頁)に書いておきました。そして篩の種類を呼ぶときには 開きのmm数の1000倍に当る μ数をとって標準網篩 2830 250 というふうに呼びます。

また おおまかには -2.5φ(5.66mm)より目の細かいものか細粒の篩 それより粗いものが 粗粒篩と呼ばれます。タイラーや U.S.方式の メッシュ番号(Mesh)は だいたい1インチの中に含まれている目の数を現わす呼び方なのです。なお 有名なタイラー (Tyler)社の篩目はφ0.25ごとの値より少しずつ狭く すなわちφ0.25ごとの粒が それに近い篩の中に留まるようになっています。

篩分けは 受器の上に使う篩を細かいものを下 粗いものを上の順で重ねておいて 一番上の篩に試料を入れ ふたをしてから始めます。ふるうのには 篩振盪機(しんとうき シープ・シーカー)というモーターや手動で 篩を機械的にふる動かし 能率的にふるい分

ける機械があります。これには 打ち振りや旋回など篩の運動の仕方の組み合わせによって ロータップ式 揺動式という種類があります。これらの機械を使えば普通 6～10個の篩を一度に重ねて数分ないし10分余りで篩別を終わることができるのです。

しかし 礫は砂や泥に比べると ずっとふるいやすいですから 小規模の実験なら 篩を手にもってふるっても さほど労力がかかりません。手でふるうときの注意を 2つ3つ申し上げておきましょう。

- 第1 は まず 試料の下に敷いた布を傾けたり 手で集めたりして 大きい礫・中くらいの礫・小さい礫と基質というように 試料をだいたい大ききさで いくつかに分けておいて はじめからそれぞれ 粗さに似合った篩でふるうことです。これは 試料がこぼれること 別の大ききの篩に留まることを防ぐだけでなく 実験の能率を上げ 篩の損耗を少なくする効果を出します。
- 第2 は 篩の中に一度に試料をたくさん入れないこと。礫がじゃましますし 篩の網は幾多の試練を経た礫よりはるかに弱いのですから。
- 第3 は 欲張って篩を6個も7個も重ねないこと。3・4個重ねてふるうほうが疲れなし 篩分けが確実です。
- 第4 は 篩目にひっかかった礫は 篩を裏返して 木切れなどで押しははずします。はずした礫は大半はその篩に残るはずのものです。残らないはずのものが向きの具合であちこちにひっかかっていたり 篩の隅にかくれていたならばふるうときの上下運動が足らなかつたか 横運動が不均等であった罰です。

篩の弱点

篩で堆積物を分けるのは能率的ですが 少々正しくない結果を出す弱点があります。この弱点は 網目という関所が 体積に対する関所でないことから起きるのです。ふるう作業を完全にやりますと どの礫も横になっても縦になっても とおれる向きがあれば 網目の正方形を通り抜けます。礫の3軸についていえば 中径が網の正方形の一辺の長さ すなわち 開きより小さければ その断面形や長径に関係なくすべとおおりぬけるのです。平たい(中径に対して短径がずっと小さい)礫の場合は 中径が網の正方形の対角線の長さ(開きの $\sqrt{2}$ 倍)に近くても 通過してしまいます。

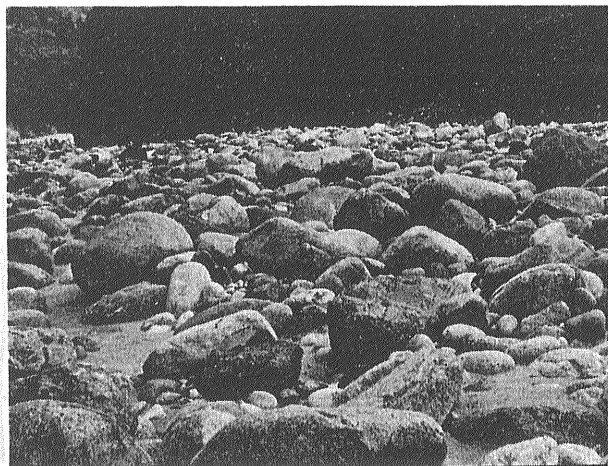
この 篩目通過の問題を もう少しはっきりさせるために 幾何学を使いましょう。礫に網目の正方形に対して 長径の主軸を斜にして通過できますので 網目

を通過する最大のb径の長さは b径を含みa軸と直交する断面での形(だ円体をモデルにすれば だ円体の短径を短径とするだ円形 一帯に礫の短径はこの面がはずれた所をとおるから その断面をだ円形に近似させて扱った場合のだ円形の短径は 礫そのものの短径より小さい)に関連して違ってきます。一般に この断面形を 中径(b)・短径(c')のだ円形とみれば 長軸と 45°で交わる接線とだ円形との関係から 開き op の篩目をぎりぎりて通過する礫の中径(b max)は 次の式で計算できることとなります。

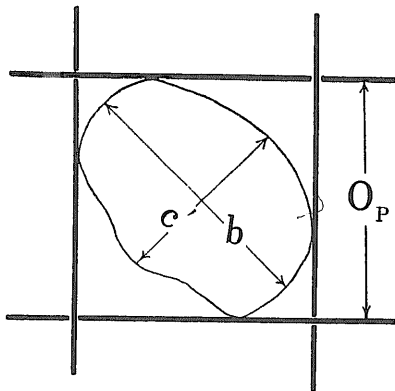
$$b \max = \frac{\sqrt{2} \text{ op}}{\sqrt{1 + \left(\frac{c'}{b}\right)^2}} \quad \text{op: 網目の開き}$$

結局篩は礫をその中径を含み長径に直交する断面の形と大ききさに関係した係数 $\sqrt{2} / \sqrt{1 + \left(\frac{c'}{b}\right)^2}$ と篩目の開きとを 掛け合せた値によって選別していることとなります(第11図参照)。この式を使って 篩目をとおり抜けるいろいろな形のだ円体 礫の最大の体積と それを球に換算した直径が篩を通過する最大の球体礫の体積や直径の何倍に当るかを計算してみますと 第4表のようであることがわかります。

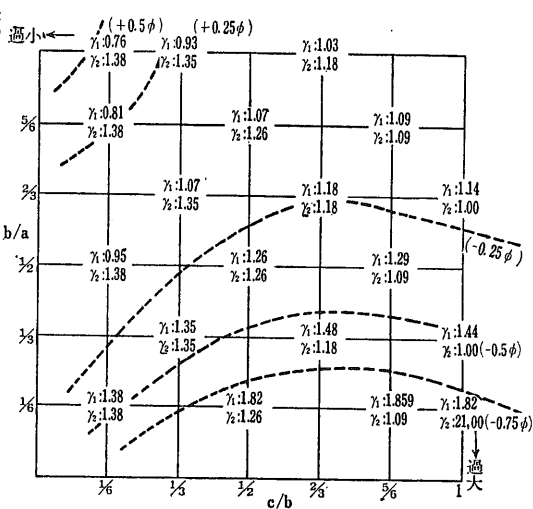
つぎに篩目を通過できる最大の礫と通過できない最小の礫とを比較してみましょう。普通 最大の通過礫は 中径=短径=篩目開き 長径/中径=4余りの回転だ円形の棒状礫で(長径が中径の4倍以上ある礫はきわめてまれ)その体積は篩目の開きを直径にした球の4倍 それを球の直径に換算したときは約1.6倍となります。篩に留まる最小の礫を 長径=中径 中径/短径=8 のだ円体として見積りますと 篩目開きを直径にした球の1/3の体積しかなく それを球とした直径に直せば 篩目の開きの約70%に当ります。



峡谷を下ってきたパーティ(黒部川宇奈月)



第4表
 篩目を通過する最大だ円体礫の
 過大 過小度
 a: だ円体の長径
 b: だ円体の中径
 c: だ円体の短径
 (): r₁の+値差
 r₁=礫の篩に対する過大過小
 篩を通過する最大だ円体礫の球換算直径
 篩目の開き
 r₂=篩中径度= 篩の中径径 / 篩目の開き
 第1図
 篩目をぎりぎり通過する礫の
 b軸をふくむ断面



以上のことから 幾つかの階級の篩を重ねてふるった後 一つの篩の中に入っている礫の大きさについて 具体的に考えてみますと まず篩で球ばかりふるった後 その篩からとり出される球の大きさの上限・下限に比べて 篩の中に存在する礫の現実的な最大値と最小値は それぞれ約 -0.22ϕ $+0.52\phi$ の差をもっていることがわかります。このことは 1ϕ ごとの篩を重ねたときは 上下の篩の区間まで 0.25ϕ ごとの篩を重ねたときは 上下に3段づつの範囲まで 礫のとり違えが起こっていることを示しています。

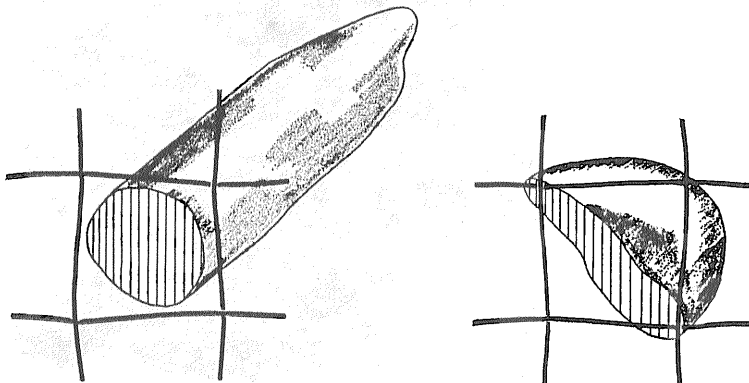
ではその犯人は誰か。その篩の開き あるいは その上の級の開きに近い中径をもった礫が 正しい値をくるわせる容疑者らしく また中径の値はいつでも 棒状や円盤状の礫は 別の面からみた容疑者と思えるのです。

よく判別すると この容疑者達のうち 棒状だが中径の割合には体積の小さい骨ばった礫 あるいは円盤状だが中径の割合には体積の大きい直方体型の礫は 犯人でない白になりますが あとの大部分の容疑者は そのさの中にそのc'目の開きの範囲の直径をもつ球型の礫が集められているとみなす上につごうの悪い連中なのです。第4表によって 一般に容疑をかけなければならない礫のホームが推定されます。

ここで悪い連中を ほかの篩へつまみ出してしまうことを計画します。すると上の篩からは小さすぎる礫下

の篩からは大きすぎる礫が 逆に送り込まれてきます。ではその取引収支はどうなるか 堆積物によって さらに精確には 各篩に入っている礫の性質によって プラス・マイナスまちまちなことが明らかです。しかし 個数でなく総体積・総重量については 下の篩から階級をあげられてくる すなわち 量がプラスされる場合が多く また収支の差額は篩の中での容疑者の存在より たいいて小さくなくとも思います。

砂を篩分けたときは 犯人がいることがわかってても 手錠をかけることができません。礫は手にとることが できますから 直接的な補正法として 2重の犯行があるものについて すなわち 棒状で中径・短径が大きい (上の篩目の開きに近い) ものを上のグループへ 円盤状で中径・長径が小さい (その篩の開きに近い) ものを下のグループへ移しかえるという手直しをやりましょう。この操作は 誤差の絶対値を ぐんと小さくする効果を現わしますから精密な測定値を出したいとき 試料の量が少ないので なるべく誤差を減らしたいときには だいいな手段になりましょう。



第2図 篩目を通過する過大な篩と通過できない過小な礫

各級の礫の量

試料を体積か重量か篩目によって 幾つかの級に分けたら 各級ごとに 総体積か総重量をはかります。原義としては 体積比を求めるべきですが 砂・泥の細粒部分に対して 地層・礫岩そのままの状態での体積が測定しにくいことと 重量比による組成が堆積過程中の要素と関係す

ることもあるので 重量比をそのまま使うことが多くなります。体積と重量は比重2.65の乗・除で平均的に換算されますし また両方の比率間に大差がないことが多いので 普通には 重量比がそのまま体積比の代用に使われています。

計量の誤差

礫の量の測定には どうしても かなりの誤差がつきまといます。秤の精度の限界 体積を計るのに使った容器で目印し線までの注水の不精確さ 目盛り円筒・計量コップなどの繰り返し使用による誤差などを考えて 測定結果を使わなければなりません。

目盛り円筒などの使用による誤差は 水滴の残り・目盛り読みのくせの累積などによる誤差なので 減らすように注意すれば ほかの種類の誤差よりずっと小さくすることができます。

秤の精度は 少し余裕をつけて 上皿天秤:100~200g用 0.05g 同500g~1kg 0.2g 台秤:6kg用 5g 同12kg用 10g パネ秤:2kg~5kg用 10g 桿秤:1~2kg用 2g 同10~30kg用 200g とみればよいでしょう。もちろんどの秤も調整したり 正しい秤と比較したりしていないと もっと大きくなるいが出てきます。

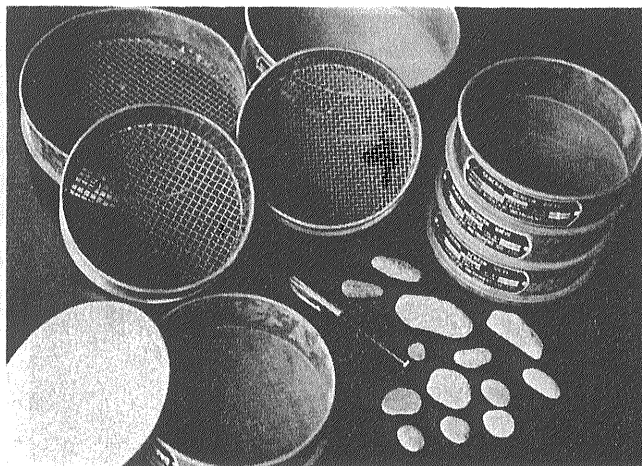
容器へ精確に水を盛る ことは 案外むずかしいものでとくに容器の壁がぬれていると 水の表面張力にごまかされて水の表面が目盛りにピッタリ合っているかどうか分かりません。この目盛りからのはずれは 横から見ずかせる細い目測円筒(直径1cm 4cm など)では 高さ0.5mm(0.04 0.6ccに相当) 直径が10 20cm では高さ1mm(8cc 30cc) 直径が30cmくらいのバケツなどでは 2mm(150cc)になります。バケツなどに目盛りを入れるときは はじめ精確に計った水を入れた

らその表面に合せてセロテープなどをはりつけ 水を出してからその下側にマジックなどで線を入れます。この線を直交する対角の4個所に入れておくことが重要で 礫を入れ水を目盛り線の少し下まで満たしたとき 4つの目盛り線が水平になるよう容器をすえかえ 最後の水を加えるようにします。このやり方で 前記の誤差をもう少し減らすことができます。

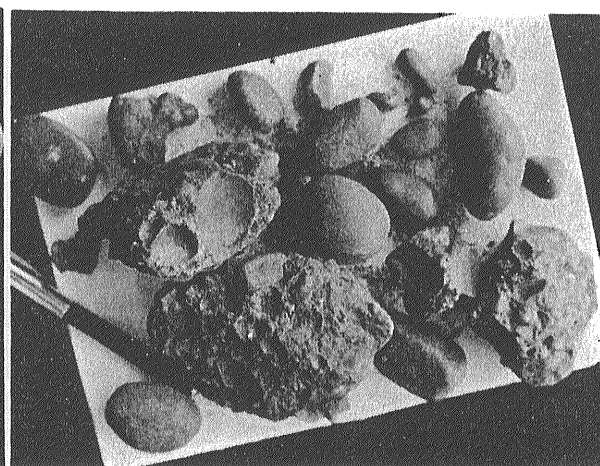
一般に秤も容器も一度に計られるだけ 大量に計った方が 精確な値が出やすいものです。なおこの場合 目的が相互の比率を出すことにありますから 計量の正確さは小量の級に 1g までの誤差をみとめたら それより10倍大量の級には 10g までの誤差をみとめるという具合でよいことになります。そして 各級ごとの重量・体積の集計値と 一括して計った総重量や総体積とが かなりくい違ったときには とくに総重量・総体積に信頼できない事情がないかぎり 総量を正しいとみて各級での測定失敗や転がって逃げた礫をさがしてみましよう。特別な測定ミスがなければ 各級の量に応じて 誤差を比例配分する見地から 測定値の集計を分母にして 百分率を出します。

体積比と重量比

各粒度階級の体積を測定して出した粒度組成と 重量を計って出した粒度組成とを比較すると 普通 いや 厳密には必ず その中の比率が違っているはずですが。これは 岩になっていない礫質堆積物で礫と基質の比重がかなり違っていると また どの礫岩でも礫どうしの際に岩質の種類と風化の違いなどで 比重の差がありしかも 岩質の違った礫がそれぞれ ある粒度に集中しやすいことから起こるのです。したがって 重量比で検討したい問題には重量 体積比で解きたいテーマには 体積と 目的によって測定方法を変えれば理想的です。しかし 両方の目的をねらうからといって 2種の測定



標準網篩と篩分けに適さない礫の形



こんな礫岩なら粒度分析も楽(中新世の礫岩)

をするのはばからしいですし 測定作業上 重量を測定する方が楽ですから 礫や基質の比重を使って1種類の測定値を2種の比率にして使いましょう。 一般にはくい違いがたいして大きくありませんから どちらかで測った割合いをそのまま違うテーマに共用してもよいようです。 ただし測定した結果には 必ず 重量比か体積比かを書きそえておくことをお忘れなく。

礫 基質の比重

体積と重量の換算の参考に 岩石礫の自然乾燥状態での比重の概数をまとめて 第5表に掲げておきます。

岩石の種類が同じでも 礫の風化状態などによってかなり値が違います。 精密に換算しようと思うときには その礫の比重を計って下さい。 風化した礫層や変質作用をうけた礫岩中の礫の比重は 堆積したときとの違い方に意味があるといえましょう。 堆積時の重量比は 同じ岩種の正常な礫の比重を代入して推定したらよいでしょう。 一般に 2.65が礫 基質を通じての平均的比重値として使われていますが 礫—基質—大きい比重の礫—小さい比重の礫—基質 あるいは 礫の岩石種ごと—基質 の間の比重差を入れて 体積比と重量比の換算をしたがよいと思います。

礫の比重を簡易に測定 するには 自然乾燥している礫の重量をはかり 次に前に書いたように 容器と水で その礫の体積をはかります。 バネ秤や桿秤を使って 空気中の重さと水中での重さをはかって 算出するのもよい方法です。 ある岩質の礫の換算用比重を知りたいときには それを代表できるように数個以上の礫をとり合わせて測定しましょう。 これらの方法でも測定誤差を比重 0.05の範囲におさめることができます。

さらに精密な測定は 比重天秤といって 試料の水中での重さをはかりやすい構造にしてある比重測定専用の

第5表 礫 の 比 重

礫 の 岩 石 名		比 重	比重の階級
深成岩	花崗岩・花崗閃緑岩	2.6—2.7	中
	閃緑岩・斑礫岩	2.8—3.0	大
火山岩	流紋岩・石英安山岩	2.5—2.6	小・中
	安山岩	2.6—2.7	中
	玄武岩	2.8—3.0	大
変成岩	片麻岩	2.6—2.9	中・大
	片 岩	2.6—2.9	中・大
堆積岩	古期砂岩	2.6—2.7	中
	粘板岩	2.7—2.8	中・大
	新期砂岩	2.3—2.5	小
	頁岩・泥岩	2.2—2.8	小—大
	チャート	2.6—2.7	中
基質	石灰岩・苦灰石	2.7—2.8	中・大
	砂・泥基質	1.7—2.7	
	石灰質膠結物	2.6—2.8	

天秤を使ったり また 化学天秤を水中の重量の測定にも使ったりして行ないます。 ただし この方法では測定できる試料の大きさが 小型の中礫以下に限られます。 また 細礫については比重ビンあるいは重液を使う方法が適します。

コンクリートの骨材の比重 としては 骨材を水 セメントと混合して使うことから 試料が水を吸った状態の比重がはかられます (吸水量の試験も平行しますが)。

この試験方法は 試料を水の中に24時間漬けておいてから 表面の水をふきとり しばらくして表面の水分がとれた (表面乾燥飽和状態という) とき 重さをはかり次にその試料の水中での重さをはかって 比重を求める方法で行なわれます。 このようにして計られる礫の比重は地質学においても 礫の水中での行動や 滞水した礫層を研究する上に かなりの意味をもつと思います。

基質の比重 も礫と同じような方法で測定すればよいの



この礫のφ値は？ 小河内ダムの記念碑



最大級の礫の1個がハンマーの直下にある

ですが 基質が軟弱で塊として採取できない あるいは水につけるとすぐほろかいする場合は適確な測定ができません。トタンで 1cm 角くらいの筒を作り 露頭で基質の部分にその筒をつきさして 何 cm³ の試料がとれたかを 測りながら 試料を採集するなど 近い値を出す工夫をしましょう。ただこうして計られた基質の比重は現在の状態を示すもので 堆積してから岩になるまでに 孔隙の減少や圧縮・膠結物の侵入・微細な物質の移動・鉱物組成の変化 そして風化をうけてきた結果の値だということを忘れないで下さい。

体積・重量を換算するためには 一般に自然のままの乾燥状態での比重を適用すればよいのです。なお 新生代の泥岩 砂岩の礫 風化した安山岩 花崗岩などの礫では 風乾状態から数%以上水を吸うことがあるものです。

礫の個数による推定

各級の礫の量は 礫の個数と関係が深いのですから 一つの級に含まれる礫の個数を数えれば 総量としてある程度推定 できます。たとえば -5φ と -5.5φ を境にして区切った級に 100 個の礫があれば 総体積は級の上限・下限値の中間値 $(32.0\text{cm} + 45.26\text{cm}) \div 2 = 38.6\text{cm}$ あるいは -5.25φ の 38.05cm を直径にした球 100 個分として計算し 総重量は総体積に 2.65 を掛けて算出します。しかし この推定値は 実際には その級の中で大きい礫が多かったり (後述の粒度分析の山より細粒側) あるいは 小さい礫の量が多かったり (山より粗粒側) しますので 実測した総体積や総重量と多少違います。なお 各級の礫の個数をしらべた結果から 各級の相対度数 (含有率) の近似値を知りたければ 直接相互の比を計算します。たとえば -6~-5 の級に 4 個 -5~-4 の級に 60 個 -4~-3 の級に 200 個 の礫が含まれていれば それらの体積比は $4^3 \times 4 : 2^3 \times 60 : 200$ すなわち $256 : 480 : 200$ と計算して 全部の級をつないだ比を求め (-4~-3 の総重量を出し これより細粒な部分の重量比と粗粒な部分の個数比をつなぐ) その値によって百分率を決めてゆく方法をとります。この方法では 各級内で 大小の礫が一様に分布していなくても 分布傾向が似ている級の間の比は かなり信用できるわけです。この方法は 試料を掘り取らないで 崖面を観察するときに適用するとよい方法なので 先で詳しく述べます。試料を掘り取ったときには なるべく 総体積や総重量をはかって 確実な資料を作っておきたいものです。

基質の粒度分析

ハンマーでたたいてカチカチ音がしたり 鋭い破片がとぶような硬い基質をもとの砂や泥の姿にもどすことはできません。日本ではだいたい中生代の中頃より古い時代にできた礫岩がこんな石化作用をうけていて その基質については 正規に粒度分析できる余地がないといつてよいでしょう。

試料の予備処理

第四紀の礫層などの基質は 特別に膠結されていなければ そのまま手で押しつぶしたり ビーカーに入れて水といっしょにかき回したりして 砂・泥を遊離させることができます。第三紀の礫岩などで ハンマーでたたいて割にたやすくくずれるような基質は ハンマーでくたいて小さい破片にし その時出た砂泥のくずと合わせて 数日間 水につけて おきます。指頭大の破片であれば 半日位で一通り水を吸いますから 水に入れた翌日くらいから ときどきゴム栓や木の棒で塊をおしつぶしたり かきまぜたりしておきます。そして破片全体が軟かくなったら 木のさじなどでよくかき回すか あるいは水を沸とうさせて 砂・泥をできるだけ遊離 させます。ただし余りひどく扱って 損れやすい砂粒を粉々にしてしまつてはいけません (多少は止むをえませんが)。なお基質を破片にするときやおしつぶすときに膠結物や礫のかけらを見つけたら 拾って分けておきましょう。

大部分が砂泥に分れても いつまでも 頑張っている 小さい固まり があるものです。それはたいていこの塊の部分に膠結物や粘土分が多いためなのですが 普通の部分と見かけが余り違わなければ その含砂率は普通の部分の 2・3 倍か あるいは数分の 1 しか違っていません。したがって 砂・泥の比率についてはこの硬い部分がなかったとして計算しても大差のない結果に落着きます。すなわち いったん総量から硬い部分の重量を差引いて 軟くなった部分だけについての砂・泥の粒度分布を出し その比率を基質全体に適用して計算するのです。またこの考え方を拡張して硬い基質から少量だけほぐれた物質の砂・泥の比率を計って 基質全体の値を推定します。実は 硬い基質の内容や粒度を知るには 岩石薄片を作り顕微鏡で観察する方法が一番適しているのですが。

砂・泥の篩分け

さて 砂・泥と水の集まりになった基質の試料には

第6表 基質の砂・泥に使う標準網篩

相当の φ値	JIS規格 篩目の開き (mm)	同寸法の U.S.式 番号	近似粒度 の Tyler Mesh
-1	2.00	No. 10	9メッシュ
-0.5	1.41	14	12
0	1.00	18	16
0.5	0.71	25	24
1	0.50	35	32
1.5	0.35	45	42
2	0.25	60	60
2.5	0.177	80	80
3	0.125	120	115
3.5	0.088	170	170
4	0.062	230	250

砂質や泥質の堆積物に使ういろいろな粒度分析法が適用できますがここでは砂の部分重視して砂の粒度分析の基本でもある乾燥試料の篩分けを解説しておきましょう。ビーカーに入れた試料と水を棒などでかき回しビーカーを適度にふって底に砂があり上に泥水があるようにします。そして水の動揺が静まりかけたときに上の方の泥水を別のビーカーに移します。それからきれいな水を加えてビーカーをふり泥水を集める操作を2・3回繰り返します。このとき泥水の方に細粒砂以上が入らないように加減しまた残りの方からなるべくこまかい粘土が洗いとられてしまうように工夫します。泥水を入れたビーカーと砂の多い残物を入れたビーカーはそのまま24時間ぐらい置いておきます。するとごく細かい粘土などはまだ懸濁していますがほとんどの部分はビーカーの底におとなく集ってしまいます。まずビーカーをそっと傾けたりビニール管などのサイフォンを使ったりして静かに上の水を捨てます。そして砂の多い方と泥の多い方をそれぞれ蒸発皿に入れ替えて煮つめます。ただしこの時ガラス棒に泥がくつつくくらいの水分を残して乾涸を止めないと粘土分が固まったり砂粒にこびりついたりします。煮つめた試料をガラス板などの上にかき出して十分自然に乾燥（風乾という）させます。

乾燥した試料の重さを計って篩分け前の総重量を出しておきます。とくに精密なデータをとりたいときや試料が少ないときには篩分けの前後に恒温乾燥器——デシケター——化学天秤の繰り返しで恒量秤量します。乾燥中に固まった泥は指やゴム栓などで押しつぶして粉末状にすればよいのです。

基質にも礫の篩分けの項で説明した標準網篩を使います。この標準篩のうち検定付というのはJIS規格にしたがって通産省の工業技術院に属している計量研究所で検査された品なので一定の精度を持っているこ

とが明らかで安心です。しかし検定を受けていない（無検定という）品でも不良品でなければ結果についてそう心配しなくてよいでしょう。篩を選ぶとき網目が拡大鏡でみてもだいたいそろっているか寸法の表示が誤っていないか網目がゆがんだり凸凹になっていないか網と枠の間にちゃんとハンダが付いているか篩がうまく重ね合うかなどに気を付けて下さい。

また砂や泥とくに手でふるうのには篩の径が15cm 深さが4.5cmのものか径7.5cm 深さ2cmのものが適しています（径の小さいもの無検定のは価格が安い）。篩目は第6表に掲げたように開きをだいたいφの0.25ごとに合うように作ってあります。

篩分ける階級は普通の研究には極粗粒砂 粗粒砂 中粒砂 細粒砂 微細粒砂 泥の6区分に分ければ十分で基質の含量が20%以下のときにはさらに級をまともてもよいと思います。

砂・泥の篩分けは礫の場合と違って調子よくはかどりません。粒が軽いために重力を利用して網を抜けさせようとする方法の欠点が現われてくるのです。そして砂と泥の境くらいの大きさについてはそれに合う金網の篩がやっと作られているのですから日本工業規格（JIS）でもかなりの誤差を許しているように篩に高い精度が求められません。

つぎに手工業的実験に当って気をつけたいことをいくつか書いておきましょう。

はじめに0.25か0.5mm篩を使って砂の多い方の試料を2つに分け篩を通った方を泥の多い試料に合わせます。それぞれを3個か2個重ねた篩の上に入れてよくふりそろそろよいと思ったら重ねをはずしてさらに1個ずつ篩から粒がほとんど落ちなくなるまでふるいます。篩に留っている粒はこぼさないようにいったん紙などの上に出してからビーカーなどに入れましょう。ビーカーからほかへ移しかえるときには器壁についている泥粒子をペンキ刷毛か鉛筆で掃き集めます。

篩の網にひっかかっている粒は紙の上に篩を裏返して置き歯ぶらしでこする。篩を少し持ち上げて机の上にトントン落す。木箸でつつくなどしてはざしなるべく回収します。また棒を手のひらでたたいて網のとりつけ部にかくれている粒をささいに出します。ふるっている際中移しとるときなど思わず試料をこぼすことがありますから机の上に大きな紙をしいておいてこぼした物が必ず集められるようにしておきましょう。それから篩分けたサンプルをうっかりとり違えないように容器に粒度や試料番号をかいておきます。

うっかりの予防は確実な実験に重要なものです。

それから使った後で 必ず 篩を掃除すること。

実は 0.25mm より細かい網目についた砂や泥の粒の除去は 篩分け作業の中で 一番根気のいる仕事なのです。

一番能率的で効果があるのは 圧搾空気を吹きつける方法ですが 普通には前に裏返しでやった方法を 今度は篩の表からやってみます。また 水道の蛇口を指でおさえながら 水を網に吹きつけてみます。最後の手段は網にはさまり込んでいる粒を 1つ1つねらって網を損じないように注意しながら 針でつつきはざすことです。しかし これから100年くらいは網についていたいという粒まで 全部はざしてしまわなくてもよいのです。砂や泥をただ粒度分析するだけのときには 前の実験で残った粒が何粒か入っても 結果に大きな影響がありませんから 2・3年篩に付いていたが粒が 20・30個残ってもよいとします。ただし 実験にかかるまえに篩をとんとんやり 歯ぶらしをかけて 気の変った残粒をはずしておいてやって下さい。それから微量入っている鉱物粒の種類を問題にする実験では 篩の一部になり切っていない粒を見逃してはいけません。それは実験結果を統計的に吟味しても その粒を排除する決め手がつかめないことが多いからです。

もう一つ 大事なことがあります。篩を大切にしましょう。測定をする実験では 確実な結果が精密な器具から生まれます。篩は横からの打撃に弱い：杵がゆがめば 網目は簡単にくるってしまいます。針金を横へ動かしてはだめ：ひっかかった粒をはずすとき 網目をおしひろげたり 斜めから圧搾空気を吹きつけたりしないこと。網は硬いもので傷つく：網をナイフやキリでつつくと 傷がつきやすく ワイヤブラシは使用厳禁です。網は さびやすい：薬品がかかったまま あるいは水にぬらさばなしにしておけば 緑青が吹いてきます。洗った篩は水を切ったり 拭きとったりしてから 風通しのよい所で隅まで 乾かすことです。また 加熱乾燥するときは 強熱しないように気をつけましょう。

測定に使う試料の量

「いったいどれだけ試料をとればいいんですか？」

「目的に対して適量の試料をおとりなさい。」これは 簡にして要を得た明答です。その通りにやりましょう。

一般に ものの量を測って百分率を求めるとき その対象がどこをとっても同じ質(均質)であれば 求められる精度さは 量を測定した精度に制約されるだけです。

たとえば 豆腐の化学分析の結果で たんぱく・でんぷ

ん・しぼう・水……の百分率にふくまれている誤差は ほとんど それらを分析し分けて重量をはかる という途中での精度さの程度によって定まってしまうでしょう。

ところが 百分率を求める対象が むらのあるもの(不均質)であると とった個所ごとに試料の質が違っているので いろいろなパーセント値が出てきます。礫岩は不均質な場合を代表する例のような存在です。今 1m³の試料を掘りとろうとしても そこに直径 2m の巨礫があったのでは 百分率はめちゃくちゃです。という 一見均質な豆腐の場合でも 水やでんぷんの分子 1個分くらいの試料をとって分析したら やっぱり全体の百分率は出せないことに気がきます。したがって 百分率は対象の不均質さに応じて それが問題にならなくなる程の試料を使って求めなければならないことがわかります。一般に不均質さの影響を減らす可能性のある第一の方法は 全体から ランダムに試料を採取することです。ただし こうして集めた試料は あちこちから試料をとり出したというわけですから 採取個所がごく少なければ 異常部ばかり入って かたよった性質を示すことも起こるわけです。

測定値の効力の問題

また試料の量がどれだけあれば そのくらいの精度で結果がだせるかについて基本的に考えることもできます。

今 ある階級の大きさの礫が 1%の割合いで含まれている礫岩から その級の礫 1個分の量づつ 100 個所からサンプルをとり出したとすれば 平均的にはそのうちの 1 個所からその級の礫がサンプルされてくることになるはずでしょう。しかし 実際には 運・不運が現われてぜんぜんその級の礫にあたらない場合や その級の礫が何個も採取されてしまう場合も起こります。ですから サンプルの量をふやして 運・不運を埋め合わせるよう 測定値をだんだん礫岩全体の本当の値に近づけて行くことが必要になります。このような見方をすると 統計学で確率論によって検計されている 比率とその誤差についての理論が応用できます。

すなわち ある級の礫の真の含有率を P(%) 試料の中のその級礫の含有率を p(%) 測定量をその級の中央体積 n 個分で表わせば 信頼度を 95% としたとき

$$p - 2\sqrt{p(1-p)/n} < P < p + 2\sqrt{p(1-p)/n}$$

の関係がなりたつと考えるのです。維持したい精度を決め測定する級の礫の含有率を予想すれば この式からその級の礫の何個分に当たる試料をとればよいかを見当づけることができます。

最大級礫による採取量と測定誤差の判断

しかし 礫岩や礫層の中にどの粒度階級の礫が何%あるかは 見ただけで予想しにくい問題ですから 誤差の程度をもっとおおざっぱにとらえる方が実際的になります。礫岩をみてみますと 砂・泥・小さい礫は全体に分散していますが 大きい礫はこまかく分かれることができないので 大きさが大きいほど 偏在的に存在しています。したがって 最大級の礫の含有率が 比較的 正しく求められた場合には それ以下の礫の比率は 最大礫の比率以上に 精確に求められているといえます。ですから 最大級の礫の測定値の精確さを 計算してかかれれば 安全に測定値を使うことができることでしょう。

第7表は この観点から 最大級礫の含有率に対する $2\sqrt{p(1-p)/n}$ の計算によって作った表です。この表の使い方は 今-4~-5φの級に入る最大礫を含んだ礫岩があって 測定した結果の%を ±2%の精度で使いたいと思えば その-4~-5φの級に入る礫の含有量を目見当で 5%以下が 5ないし15%か 15%以上かを判定します。それが5~10%ぐらいだったとしたら 試料を 総体積 $15 \times 10^3 \text{cm}^3$ あるいは総重量 35kg 以上とればたいへいの場合 目的の精度がはたされるとみなすのです。そして その2%という精度は最大級の%に見合う値なので 最大級より 1φ 小さい級の誤差はその%がたとえば 10~15であったならば $2\% \div \sqrt{2^3} = 0.7\%$ として計算するか あるいは上の枠内の-3~-4の級の所に 16kg の採取量で1.0%とあるのを見て 1.0%より低い値だと判断します。-2~-3の級が20%あったとすれば 15~85%の列で採取量が35kg より少し低い-2~-3φの行をさがし 18kg で0.5%だから 実際は0.5%以下だろうとみなせます。

この場合各級の%が ほとんど同じなら 続く級の誤差の大きさは $1/\sqrt{2^3}$ $1/\sqrt{2^{3 \times 2}}$ $1/\sqrt{2^{3 \times 3}}$ …と規則的に減りますから その 累積誤差の限界 を求めることができますが各級の%がいろいろの値をとりますので 前の式によって算出した各級の誤差を足し合わせていくことになります。なお大きい方の3階級を集計すれば 累積誤差の大部分がとらえられるのです。しかし 実際の粒度分布の極限的な形について 各級の誤差を足し合わせてみますと 誤差の累積値は大きい場合でも この表の限界値の2倍以内になるようです。すなわち 今最大級が-5~-6φで 3%と測定され 試料の総量が 100kg であったとしますと 各級の%を合計していた%に対しては $2\% \times 2 = 4\%$ の絶対誤差を見込めば まず大丈夫というわけです。これは後編で述べる粒度の度数分布のパーセンタイルという値に含まれる誤差を見積る簡便法として役立ちます。ついでにいいますと 累積度数が25%に±4% 75%でも 75%±4% 100%

第7表 最大級礫による測定誤差と試料採取量との判断表

	最大級の粒度(φ)	最大級礫の見込含有率(%)					
		15 ~ 85		5 ~ 15		0 ~ 5	
測定値に期待する	-1~-2	1	2	1	1.2	0.2	0.4
	-2~-3	8	18	4	10	1.5	3.5
	-3~-4	55	130	30	70	12	26
	-4~-5			220	520	90	210
絶対誤差の限界値(%)	-1~-2	0.2	0.5	0.1	0.3	0.1	0.1
	-2~-3	2	4.5	1	2.5	0.5	1
	-3~-4	15	32	7	16	2.6	6.2
	-4~-5	110	260	55	130	21	50
	-5~-6					170	400
2.0	-2~-3	0.5	1.1	0.3	0.7	0.1	0.3
	-3~-4	3.5	8	1.3	3	0.7	1.6
	-4~-5	28	65	15	35	5.5	13
	-5~-6	220	520	120	270	44	105
	-6~-7			430	1,030	350	830
5.0	-3~-4	0.5	1.3	0.3	0.7		
	-4~-5	4.5	11	2.5	5.5		
	-5~-6	35	82	18	44		
	-6~-7	280	660	150	350		
10.0	-4~-5	1.2	2.6	0.6	1.3		
	-5~-6	9	21	4.5	11		
	-6~-7	70	170	35	85		
	-7~-8	550	1,350	280	680		
		$\times 10^3 \text{cm}^3$	kg	$\times 10^3 \text{cm}^3$	kg	$\times 10^3 \text{cm}^3$	kg

試料採取適量

めも 100%±4%とみれば ほとんど確実だということです。

さて基本的には最大級を手がかりにして 試料の採取量をきめればよいことになりましたが 直径1mの最大礫を少しふくんだ礫岩を1%の絶対誤差内で測定してやろうと決意しますと その1,900個分 総体積 1,000m³ 総重量 3,000 トン弱の試料を採取して実験することになります。これはまさにウルトラマン向きの実験です。普通人向きの実験としては 総量200kg・70,000cm³ から せいぜい1トン・400×10³cm³ までが限界となるでしょう。第7表は この普通人向きの範囲の値を書いたのです。これを見ると 最大径が-6~-7φ以下の礫岩にしか 人力が及ばないというもう一つの限界が表われています。すなわち最大径が10cmを超えた礫岩の粒度分析は ウルトラマンに頼まなければとてもできないぞということになりそうです。

ところが 礫質堆積物の集合状態の研究から この困難さを減らす 妙手もあみ出されているのです。

妙手の考案者 谷津榮寿(1949)氏は 河川の砂礫についての試料の量という問題を検討して つぎの方法を提案し その後多くの人に使われています。

谷津氏の方法は 砂礫堆積物をまずほぼ一様な性

質をもつ幾つかの層に分け その層の中で最大級に属するほぼ同じ大きさの礫に注目し その間の部分を平等に分配するように区画を入れる。その最大級の礫を中心とした区画の中を一つの単位 すなわち一つの集落とみだてる。そして層の中から無作為に何個かの集落を抽出しそれを粒度分析する。というものです。そして谷津氏がこの方法を多摩川の川原で試みた結果によると 砂礫が一樣に分布している場所では隣接した2単位ごとの値がほとんど同じような中央粒径と四分偏差をもっているのです。

谷津氏の方法は ときにはどれを最大級の礫に見たらよいかのかわかりにくいといわれています。しかし谷津氏が塊状・無層理の礫質堆積物の不均質さが最大径の礫を中心とした単位での不均質さからなり立っていることを明らかにしたのは 実にすばらしいことです。この関係を基礎にして礫質堆積物の不均質さの影響をさけながら さらに簡略にした方法を導き出すことが可能になりましょう。とにかく 谷津方式を適用して1つか2つの集落をとると 最大礫方式より ずいぶん試料が減らせます。もちろん 最大級礫が散在していれば試料の量は最大級礫の1,000倍以上になりますが 普通には数百倍 最大級礫が密に存在していれば その100倍以下の量で済んでしまうのです。

なお 骨材の粒度組成の篩分け試験に使う試料(乾燥試料)の量は その最大粒径に応じて 次の標準に合わせるよう規格されています。

試料の最大寸法の程度	試料の標準量	試料の最大寸法の程度	試料の標準量
5(mm)	0.5(kg)	40(mm)	15
10	1.0	50	20
15	2.5	60	25
20	5.0	80	30
25	10.0	100	35

試料の総量と採取法の関係

前述の最大礫方式で見込んだ採取総量を どこから集めたらよいか。試料採取の具体的手法にふれておきましょう。礫層や礫岩が崖に露出している場合 には この問題に対して 次の4つの条件が関係しています。

第1の条件は 採取方法として 立方体状に掘り込むか 採取量が多ければ溝状に掘るのが実際的だということ。第2の条件は 必須条件で 1個所ごとに最大級の礫が十分入る体積をとって採取しなければならないこと。立方体・溝のどちらも短辺が最大級直径の最低2倍 普通数倍以上にしたいものです。

第3の条件も 測定結果に代表性をもたせるため必要な条件で 崖から測定に適さない部分を除いた後 地層

に潜在している上下変化や側方変化を平均するように採取位置を配置すること。溝掘りなら 最低縦1本横1本の溝を通さなければだめ 溝を数本以上とるならばランダム間隔でどちらかの方向だけに設ければよいといえます。立方体状採取では 無作為に採取位置をばらまいて 少なくとも数個所以上 なるべく10点以上から等量に試料を集めないといけません。

第4の条件は 最大礫方式で見込まれる試料の必要量が それぞれの最大級礫の数百倍から数万倍まで変化することです。以上の第2・第3の条件を優先的に満たしながら 第1・第4の条件に最小労力で適合するような採取プランを練って下さい。

堆積物の断面が露出していない場合。川原や段丘面から下の堆積物を測定したいときです。ここでは 堆積物の内部変化や最大級がわからなくて困ってしまいます。内部変化に対しては 採取孔を掘り下げながら 粒度や礫の集合状態が変わったなと思つたところで 地層を分ける措置しかありません。ただし 地下3mまでの砂利の平均的性質をとらえることが目的だという場合には 堆積物内の上下変化に関係なく 3mの深さまで同じ大きさの孔を掘って試料を集めるのです。最大級不明の問題には 一応最大級が表層の高頻度級より 3φくらい大きいとみなして対処します。すなわち 高頻度級の直径の20倍以上の直径をもつ円形あるいは20倍以上の辺をもつ正方形の試料採取孔を掘り上げていきます。もし最大級が予期以上に大きかったら 孔の周囲を削り落して調節すればよいわけです。

また 礫がごく小さいときは 作業に必要な大きさの孔を掘った後 その壁から試料を溝状にとります。どの場合でも 礫岩・礫層の試料を 正確に立方体や円筒の境で採取することはできません。たいいて採取中に不規則にくずれて 基質が捨たり礫が多くなり勝ちです。くずれ落ちる礫を試料に入れるかどうかは採取区画の中に その礫の中心が入っているか 入っていないかで決めて下さい。礫の本当の中心は わかりにくいですから だいたい長軸と中軸の交点を中心とみなして判定しましょう。

次回には たいへんな苦労で粒度分析された実験結果を うまく整理する方法や粒度組成を表現する数値の求め方・粒度組成による礫岩の分類法・粒度の簡略測定法について説明いたします。(筆者は地質部)

文 献

- Pettijohn, F. J. (1957): Sedimentary Rocks, Harper & Brothers, New York, 718p.
 谷津栄寿(1949): 堆積物研究に於ける試料の取方についての二三の問題 地理学評論 24巻 1号 p. 23-26