

岩石類の破碎実験による堆積学的研究

—— 砂利資源の研究(2)．未利用資源の研究，その17 ——

満 塩 大 洗

(理学部地学科)

I. はじめに

最近の建設ラッシュに伴い、陸上の砂利資源は言うに及ばず、海底のそれをも採集し、利用されるようになってきた。しかし、これらの資源も枯渇の恐れがでてきた。そこで、これに対応すべく研究を進めてきた。すなわち、基盤の岩石類が堆積学的なサイクルを経て、最終的に堆積岩類となり、次のサイクルに入っていく。つまり、図1のように、自然界の一つの運動形態としてみられるわけである。これらの自然界の諸現象のなかで、時間の経過とともに、堆積岩類は形成された物である。そして、当然ながら、堆積岩は堆積物の生成サイクル、あるいは、堆積物の一生として、運搬作用・堆積作用を受け、最終的には続成作用を受けて、堆積岩となるのである。さらに、これが地表近くでは風化作用を受けている。そこで、これら堆積岩類を扱う場合は、満塩(1988)が提唱した「続成学」あるいは「風化学」の観点から捉える必要があり、前者は物質の結合・固化であり、後者は反対に物質の結合をルーズにさせ、両者は反対の概念であるが、見方を変えればこれらは同一の現象の裏返しでもある¹⁾。

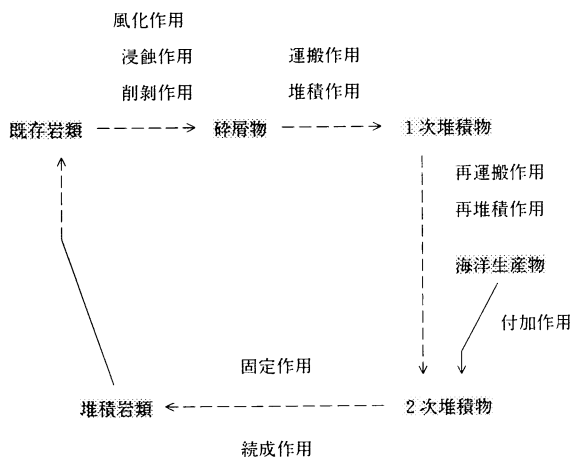


図1．堆積物のサイクル，あるいは，堆積岩の一生

堆積岩も成因によって、5種類あるが、礫岩・砂岩・泥岩などの碎屑性の源となったものから、具体的にどのような過程を通して、これらの堆積岩ができたかということである。

それ故、これらの碎屑岩類のもととなった諸岩石類を、約3cm立方のサイコロ状に成形し、鉄鉢の中に入れ、手によって意図的に、および、機械によって打撃を加えて、どのように破碎されて砂や泥質物が形成されていくかを検討した。しかし、これらの堆積物の粒径による呼称は、満塩(1985)が指摘しているように、地質学会・土木学会・土壤学会によって、それぞれことなっているのである²⁾。この問題を早急に解決する必要がある。

II. 分析方法

表 1. 試料の採集地

No	名 称	地質帯	産 地
1	砂岩	四万十帯	高知県春野町
2	赤色頁岩	四万十帯	土佐市宇佐町
3	花崗岩	足摺岬	土佐清水市
4	斑レイ岩	室戸岬	室戸市
5	蛇紋岩 1	黒瀬川帯	高知市円行寺
6	石英砂岩	秩父帯	高知市
7	砂岩	秩父帯	高知市
8	砂岩, 風化	秩父帯	高知市
9	砂質泥岩	秩父帯	高知市
10	頁岩	秩父帯	高知市
11	緑色岩	御荷鉾帯	高知県大豊町
12	蛇紋岩 2	黒瀬川帯	高知市逢坂峠

*注意: 表 2 以下の諸表は次の略号による: G, 礫 S, 砂 M, 泥 GS, 礫砂 gb, 含礫 gy, 礫質 sb, 含砂 sy, 砂質 mb, 含泥 my, 泥質

2-1. 試料

試料は表 1 に示した。これらは、1) 堆積岩類, 2) 変成岩類, 3) 火成岩類であり³⁾, 1) は砂岩 2 種類・石英砂岩・砂質泥岩・頁岩・赤色凝灰質頁岩を選んだ。2) は御荷鉾の緑色岩である。また, 3) は火成岩の花崗岩・斑レイ岩である。

2-2. 分析方法

分析方法は次のようにした。

(a) 打撃方法は鉄鉢中に試料を入れ, 機械および手によった。回数は 5-1000 回までとし, 岩石の種類や風化の程度によって打撃回数の調整を行った。

すなわち, 最少は 5 回から最多は 1000 回までとした。

(b) それぞれの試料は標準フルイによって, 粒度分析を行なった。

(c) 結果の表示は頻度曲線と積算曲線をひいて, さらに Inman (1956) 法によって, 堆積のパラメーターを算出した⁴⁾。すなわち, 以下の諸式である。

$$\text{中央粒径値 } Md \phi = \phi 50$$

$$\text{平均値 } M \phi = (\phi 16 + \phi 84) / 2$$

$$\text{分級値 } \sigma \phi = (\phi 84 - \phi 16) / 2$$

$$\text{歪度 } \alpha \phi = (M \phi - Md \phi) / \sigma \phi$$

全ての試料から堆積パラメーターを算出したが, 膨大な量になるので, 後述のように 11 の緑色岩と 12 の蛇紋岩のみを表すにとどめておく。

なお, この式はが海底堆積物や海岸・河口・河川堆積物の研究に長らく使用されていて (たとえば満塩, 1988 など), 現世堆積物と比較できるからである⁵⁾⁻¹⁰⁾。

III. 結果および考察

次のような結果が得られた。

3-1. 機械による最適打撃回数の設定

まず, 機械による打撃回数は何回が最適かを検討するために, 1000 回を最多の打撃回数とした。以下には, 打撃の効果を知るために, 普通は含砂量で表示しているが, ここでは砂分の生成率 (%) を指標とした。

3-1-1) 四万十帯の新鮮砂岩 (表 2-1)

この試料は四万十帯の砂岩であり, きわめて硬い。500 回までの打撃では砂分は 10% 以下に過ぎない。750 回でやっと砂分は 16.8% できて含砂礫となった。1000 回でもやっと砂分は約 40% 程度生

4. 岩石類の破碎実験による堆積学的研究

産され、砂質礫となって分級はさらに悪くなった。

表 2-1. 砂岩 (機械による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	100.00	0	0	G	-2.86	-2.84	0.33	0.06
30	98.90	0.98	0.12	G	-2.83	-2.81	0.33	0.06
50	98.85	1.10	0.05	G	-2.80	-2.79	0.33	0.03
100	97.30	2.40	0.30	G	-2.77	-2.76	0.33	0.03
250	94.38	5.08	0.55	G	-2.74	-2.73	0.33	0.03
500	88.83	10.30	0.87	G	-2.71	-2.70	0.32	0.03
750	82.71	16.79	0.50	sbG	-2.66	-1.59	1.50	0.71
1000	58.90	39.96	1.14	syG	-2.03	-0.66	2.29	0.60

また、図 2 には打撃回数による砂分の生成量を表しているが、他の試料中で最も堅固であることがわかる。

3-1-2) 赤色頁岩 (表 2-2)

これは20回の打撃でまでは砂分は7%以下の礫であるが、50回で14%の砂分で含砂礫となり、分級もややよい。100-150回で、砂分は28-42%の砂質礫となった。200回で砂分56%の含砂礫であるが、500回以上では砂分は90%以上の中粒砂となった。

表 2-2. 赤色頁岩 (機械による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
5	98.69	1.31	0	G	-2.80	-2.79	0.36	0.04
10	97.31	2.65	0.04	G	-2.74	-2.76	0.36	-0.04
20	93.20	6.76	0.04	G	-2.71	-2.70	0.39	0.04
50	85.76	14.01	0.23	sbG	-2.63	-2.26	0.80	0.47
100	71.44	28.23	0.33	syG	-2.31	-1.30	1.67	0.61
150	55.98	42.49	1.53	syG	-1.51	-0.61	2.16	0.42
200	41.06	56.54	2.40	gyS	-0.63	-0.16	2.33	0.20
500	7.10	90.82	2.08	S	1.14	0.99	1.70	-0.09
1000	0	94.84	5.16	S	1.80	1.74	1.14	-0.05

これは図 2 のように、打撃回数が多くなるにつれて平均的に破碎されていき、中粒砂までに細粒化された。

3-1-3) 花崗岩 (表 2-3)

以上の堆積岩類と比較のために、火成岩類では花崗岩と次の斑レイ岩を選んだ。

これは10回の打撃で既に砂分は約18%の含砂礫となるが、分級はまだよい。20-30回では砂分は32-44%の砂質礫となり、分級は次第に悪くなる。さらに、50回で砂分が58%の礫質砂となり、分

満 塩 大 洗

級は悪くなるが、100回で80%の含礫砂となり、200回以上では既に砂分は89%以上の中・細粒砂となり、分級も再び良好になった。

図2のように、花崗岩は赤色頁岩より軟弱で順調に壊れていき、細粒砂までになった。

表2-3. 花崗岩（機械による）（%）

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	82.68	17.92	0	sbG	-2.54	-2.04	1.01	0.49
20	66.92	32.85	0.23	syG	-2.00	-1.37	1.54	0.41
30	55.41	44.21	0.38	syG	-1.49	-0.96	1.76	0.30
50	39.42	58.98	1.60	gyS	-0.71	-0.27	2.04	0.22
100	15.08	80.35	4.57	gbG	0.69	0.80	2.03	0.06
200	3.40	89.33	7.27	S	1.83	1.59	1.79	-0.14
500	0	94.06	5.94	S	2.49	2.33	1.10	-0.14
1000	0	89.90	10.10	S	2.51	2.69	0.83	0.21

3-1-4) 斑レイ岩（表2-4）

これも20回以下の打撃では砂分は4%以下の礫である。50回の打撃で砂分14%の含砂礫となるが、分級はややよい。100回では砂分34%の砂質礫で、分級は悪くなる。150回では砂分約50%の礫砂で、分級はもっとも悪い。300回では砂分が88%の粗粒砂となるが、500回では砂分が78%に減少して、反対に泥分は17%に増加する含泥砂となり、分級は悪くなる。1000回の打撃では礫はなくなって泥分は23%の泥質砂で、分級は少し良好な中粒砂になった。

図2のように、これは花崗岩より破碎は困難であるが、赤色頁岩よりは硬い。

なお、500回以上の打撃で砂分が減少するのは、泥分ができたためである。

表2-4. 斑レイ岩（機械による）（%）

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
5	99.52	0.48	0	G	-2.88	-2.80	0.39	0.22
10	98.90	1.10	0	G	-2.77	-2.76	0.36	0.04
20	95.75	4.03	0.22	G	-2.74	-2.73	0.36	0.04
50	84.62	14.91	0.47	sbG	-2.60	-2.21	0.84	0.46
100	64.87	34.70	0.43	syG	-2.11	-1.19	1.76	0.53
150	49.71	49.62	0.67	SG	-1.26	-0.63	2.26	0.28
300	8.50	86.10	5.40	S	0.86	1.06	1.94	0.10
500	4.25	78.35	17.40	mbS	1.51	1.70	2.10	0.09
1000	0	76.49	23.51	myS	2.71	2.53	1.50	-0.12

3-1-5) 蛇紋岩-1（表2-5）

これは最終は1000回の打撃であるが、個々の打撃回数を変えている。

4. 岩石類の破碎実験による堆積学的研究

80回までの打撃回数では砂分は4%以下できわめて少なく、分級も極端によい礫である。160回では砂分16%の含砂礫となり、分級は少し悪くなる。320回では砂分59%の礫質砂で、分級はもっとも悪くなる。640回・1000回では砂分は93%で礫や泥は少なく、中粒砂のサイズで分級はややよくなる。

これは図2のように、新鮮砂岩を除いて最も破碎され難い。

表2-5. 蛇紋岩-1 (機械による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	99.54	0.46	0	G	-2.77	-2.77	0.34	0
20	99.08	0.92	0	G	-2.74	-2.76	0.36	-0.04
40	97.81	2.10	0.09	G	-2.71	-2.76	0.33	-0.13
80	95.02	4.64	0.34	G	-2.74	-2.76	0.36	-0.04
160	82.19	16.61	1.20	sbG	-2.60	-1.97	1.08	0.58
320	39.38	59.10	1.52	gyS	-0.09	-0.07	2.38	0.01
640	2.65	93.70	3.65	S	1.20	1.07	1.41	-0.09
1000	0	93.39	6.61	S	1.60	1.72	0.93	0.13

3-1-6) 石英砂岩 (表2-6)

これについては、最多で200回までの打撃回数とした。10回までは砂分1%以下の礫で、分級はよい。30回では砂分15%の含砂礫で、分級は少し悪くなる。50回では砂分45%の砂質礫で、分級はもっとも悪くなる。80回では砂分72%の礫質砂である。100回・150回では砂分84-89%の粗粒・中粒砂であるが、200回では砂分が減少して泥分18%の含泥砂となり、Md ϕ は細粒砂のサイズとなり、分級はそれほどはよくない。

これは図2のように、3の花崗岩より破碎されやすい。

以上の諸結果によって、500回の打撃で十分と判断された。それ故、以下には500回を最多の打撃回数とした。

表2-6. 石英砂岩 (機械による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
5	99.58	0.42	0	G	-2.80	-2.80	0.32	0
10	98.99	0.98	0.03	G	-2.77	-2.77	0.34	0
30	83.96	15.54	0.45	sbG	-2.54	-2.17	0.89	0.42
50	52.44	46.80	0.76	syG	-1.43	-0.71	2.11	0.34
80	25.97	72.20	1.83	gyS	0.14	0.10	1.93	-0.02
100	12.57	84.67	2.76	S	0.89	0.74	1.80	-0.08
150	5.86	89.20	4.94	S	1.60	1.41	1.78	-0.10
200	1.75	79.84	18.41	mbS	2.17	1.93	1.90	-0.13

3-2. 新鮮物と風化物との比較

次には、機械による打撃を与えて、同一岩石についての新鮮物と風化物との差異の比較を行なった(図3)。

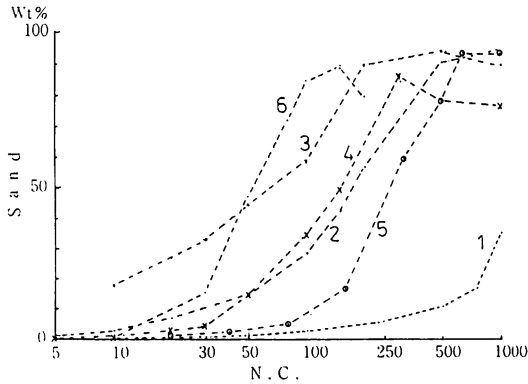


図2. 機械打撃によって増加する砂分量による破碎の状態。

- 1, 新鮮砂岩 2, 赤色頁岩 3, 花崗岩
4, 斑レイ岩 5, 蛇紋岩-1
6, 石英砂岩 N.C., 打撃回数

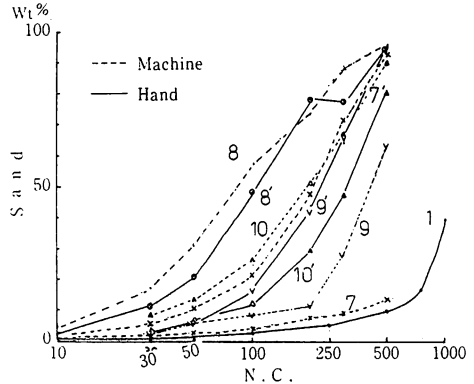


図3. 各種岩石の機械と手による破碎状態の比較。

- 1, 新鮮砂岩(図1) 7, 砂岩 7', 砂岩(手)
8, 風化砂岩 8', 風化砂岩(手) 9, 砂質泥岩
9', 砂質泥岩(手) 10, 頁岩 10', 頁岩(手) N.C., 打撃回数

3-2-1) 新鮮砂岩 (表2-7)

10回から300回までは砂分が8%以下で、礫に偏したモードであり、分級は当然きわめてよい。しかし、500回でようやく砂分13%の含砂礫となる。

表2-7. 砂岩 (機械による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	99.27	0.72	0.01	G	-2.80	-2.80	0.34	0
30	98.28	1.64	0.08	G	-2.77	-2.69	0.45	0.17
50	97.10	2.74	0.16	G	-2.80	-2.74	0.34	0.17
100	95.82	3.74	0.44	G	-2.74	-2.74	0.37	0
200	91.85	7.63	0.52	G	-2.71	-2.71	0.37	0
300	90.49	8.92	0.59	G	-2.69	-2.71	0.40	-0.07
500	85.32	13.99	0.69	sbG	-2.66	-2.69	0.40	-0.07

3-2-2) 風化砂岩 (表2-8)

いっぽう、同一の露頭から採集した風化砂岩は10回で砂分4%の礫であるが、30回で砂分17%の含砂礫となり、分級は悪くなる。50回では砂分31%の砂質礫になり、分級はさらに悪くなる。100回になると砂分57%の礫質砂になり、分級は最も悪くなる。200回では砂分73%の含砂礫となるが、

4. 岩石類の破碎実験による堆積学的研究

300回では砂分は88%の中粒砂となる。500回では礫分はなくなり、砂分は96%の中粒砂となって、分級は少し良くなる。

図3に明らかなように、砂岩は新鮮物と風化物では極端な相違があり、後者はきわめて軟弱である。以上により、砂岩は新鮮物は硬いが、風化すれば結合はルーズになってよく破碎される。

表2-8. 砂岩（機械による，風化物）（%）

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	95.02	4.66	0.32	G	-2.74	-2.76	0.36	-0.04
30	80.78	17.38	1.84	sbG	-2.60	-1.84	1.24	0.61
50	64.67	31.37	3.96	syG	-2.29	-2.73	2.24	0.69
100	35.60	57.54	6.86	gyS	0.14	0.30	2.76	0.06
200	15.20	73.85	10.95	gbS	1.60	1.13	2.33	-0.20
300	2.27	88.29	9.44	S	2.46	1.83	1.71	-0.37
500	0	96.59	3.41	S	2.14	1.87	1.36	-0.20

3-3. 機械と手との比較

次には、機械の場合に対して、手により「意志」を加えて、意図的に破碎して機械との比較を試みた（図3）。打撃回数は同様に500回までとした。表には手による打撃には、ダッシュをつけている。

3-3-1) 新鮮砂岩（表2-7）

これは3-2-1) に述べたので、ここでは略す。

3-3-2) 新鮮砂岩，(表2-7', 手)

これと比較して、同一の試料を手による打撃での破碎と比較すれば、50回までは砂分10%以下の礫で、分級はきわめてよい。100回で砂分21%の含砂礫となり、分級はかなり悪くなる。200回では砂分48%の砂質礫で、分級はこの試料では最も悪い。300回は砂分72%の礫質砂であるが、500回では砂分93%の粗粒砂となり、分級は悪い。

これらの比較により、手による意図的な打撃のほうが、機械の打撃よりよく破碎される。

表2-7. 砂岩（手による）（%）

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	98.44	1.53	0.03	G	-2.77	-2.79	0.36	-0.04
30	94.62	5.34	0.04	G	-2.74	-2.74	0.37	0
50	89.60	10.33	0.07	G	-2.69	-2.66	0.43	0.07
100	78.11	21.45	0.44	sbG	-2.51	-1.80	1.26	0.57
200	51.11	48.28	0.61	syG	-1.31	-0.64	1.96	0.34
300	27.21	72.04	0.75	gyS	-0.37	0.14	1.91	0.27
500	5.53	93.05	1.42	S	0.85	1.03	1.80	0.96

3-3-3) 風化砂岩 (表2-8)

これは3-2-2)に述べたので、ここでは省略する。

3-3-4) 風化砂岩 (表2-8', 手)

10-30回までは砂分11%以下の礫であるが、50回で砂分21%の砂質礫となり、分級はやや悪くなる。また、100回になると砂分48%の礫質砂となり、分級は最も悪くなる。さらに200・300回になると、砂分は約78%で泥分16-22%の含泥砂となる。しかし、500回では砂分96%の中粒砂となり、分級は少しよくなる。

機械と手による意図的な打撃とを比較すれば、後者の方がより破碎される。

表2-8. 砂岩 (手による, 風化物) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	95.79	3.97	0.29	G	-2.74	-2.74	0.37	0
30	87.50	11.77	0.73	G	-2.66	-2.46	0.63	0.32
50	77.55	21.24	1.21	sbG	-2.51	-1.63	1.40	0.63
100	45.31	48.59	6.10	gyS	-0.97	-0.10	2.44	0.36
200	5.14	78.24	16.62	mbS	1.66	1.64	2.10	-0.01
300	0.17	77.39	22.44	mbS	2.37	2.17	1.83	-0.11
500	0	96.05	3.95	S	2.69	2.21	1.24	-0.38

3-3-5) 砂質泥岩 (表2-9)

10-200回までの打撃でも、砂分は11%以下の礫である。しかし、300回では砂分28%の砂質礫となり、分級は悪くなる。500回では砂分62%の礫質砂で、分級は最も悪くなる。

表2-9. 砂質泥岩 (機械による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	99.06	0.90	0.04	G	-2.80	-2.80	0.34	0
30	97.95	1.95	0.10	G	-2.77	-2.77	0.34	0
50	94.23	5.67	0.10	G	-2.74	-2.73	0.36	0.04
100	91.68	8.20	0.12	G	-2.71	-2.69	0.37	0.08
200	88.64	11.20	0.16	G	-2.69	-2.69	0.43	0
300	70.61	28.09	1.30	syG	-2.40	-1.36	1.64	0.63
500	36.73	62.89	0.38	gyS	-0.43	-0.33	2.07	0.05

3-3-6) 砂質泥岩 (表2-9', 手)

手による打撃では図3のように、10-50回までは砂分6%以下の礫であり、分級はよい。しかし、100回になると砂分16%の含砂礫で、分級は悪くなる。200回では砂分約42%の砂質礫で、分級は最も悪くなる。300回は砂分65%の礫質砂で分級は悪く、500回では砂分93%の粗粒砂となり、分級はややよくなる。なお、泥分は殆んどできない。

4. 岩石類の破碎実験による堆積学的研究

以上のように、手による意図的な打撃が機械による打撃よりよく破碎される。

表 2-9'. 砂質泥岩 (手による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	99.26	0.73	0.01	G	-2.80	-2.80	0.34	0
30	96.34	3.54	0.12	G	-2.77	-2.76	0.34	0.04
50	93.49	6.38	0.23	G	-2.74	-2.73	0.36	0.04
100	81.46	16.38	1.71	sbG	-2.57	-1.96	1.10	0.56
200	57.55	41.98	0.47	syG	-1.57	-0.78	1.98	0.39
300	34.03	65.35	0.62	gyS	-0.60	-0.01	1.87	0.31
500	5.93	93.40	0.67	S	0.46	0.64	1.59	0.12

3-3-7) 頁岩 (表 2-10)

10-30回までは砂分8%以下の礫であるが、50回では砂分13%の含砂礫となり、分級はやや悪くなる。100回では砂分26%の砂質礫で、分級はさらに悪くなる。200-300回になると、砂分51-68%の礫質砂で、分級はもっとも悪い。500回では砂分90%の中粒砂であるが、分級はそれほどよくない。

表 2-10. 頁岩 (機械による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	97.58	2.39	0.03	G	-2.77	-2.79	0.36	-0.04
30	91.28	8.43	0.29	G	-2.58	-2.71	0.40	-0.08
50	85.28	13.90	0.82	sbG	-2.65	-2.27	0.81	0.47
100	72.20	26.52	1.28	syG	-2.46	-1.43	1.60	0.64
200	47.01	51.03	1.96	gyS	-1.06	-2.34	0.46	-2.81
300	30.88	66.94	2.18	gyS	0	0.23	2.54	0.09
500	9.21	90.17	0.62	S	1.26	0.97	1.69	-0.17

3-3-8) 頁岩 (表 2-10', 手)

表 2-10'. 頁岩 (手による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	98.22	1.60	0.18	G	-2.80	-2.80	0.34	0
30	95.99	3.62	0.39	G	-2.77	-2.76	0.36	0.04
50	92.35	6.61	1.04	G	-2.74	-2.71	0.37	0.08
100	85.52	12.42	2.06	G	-2.66	-2.31	0.74	0.46
200	67.59	29.27	3.14	syG	-2.37	-1.23	1.80	0.63
300	47.56	47.28	5.16	GS	-1.17	-0.51	2.14	0.31
500	16.67	80.11	3.22	gbS	0.26	0.77	2.11	0.24

手による打撃では図3のように、10-100回までは砂分は12%以下の礫で、分級はよい。200回になると、砂分29%の砂質礫で分級は悪い。300回では砂分は47%の礫砂がほぼ等量で、分級は最も悪い。500回では砂分80%の含礫砂となり、分級も悪い。

以上のように、頁岩でも手による意図的な打撃が破碎に有力である。

次には、堆積岩類以外の岩石について詳しく検討する。

3-3-9) 緑色岩 (表2-11)

10-50回までの打撃回数では砂分は7%以下の礫であるが、100回になると砂分は21%の含砂礫となる。200回になると、砂分は44%の砂質礫で、300回では砂分64%の礫質砂である。しかし、500回では砂分91%の粗粒砂となる。

以上のように、緑色岩は平均的に壊れやすいので、これを機械の打撃回数によって、どのように粒径が変化するかを頻度曲線で表した(図4)。これより明らかなように、100回までは2φに最大モードのあるユニモードであるが、200回では他に4φにモードのあるバイモードとなる。以下は300回でさらに1φにモードがでて、トリモードとなる。最終の500回では、2φの砂にモードのあるユニモードとなるのである。このようなデータは、砂が生産されるまでには多大の打撃回数を要することを示している。

さらに、これらを積算曲線で表現すると図5となる。これによって前述のように、堆積パラメーターが算出されるが、打撃回数が多くなればグラフの曲線は左側の細粒側にシフトし、かつ、 $Y = X^3$ の3乗の曲線に近づく。

表2-11. 緑色岩(機械による)(%)

回数	G	S	M	name	Md φ	M φ	σ φ	α φ
10	99.25	0.70	0.05	G	-2.80	-2.80	0.34	0
30	98.01	1.92	0.07	G	-2.77	-2.77	0.34	0
50	93.06	6.70	0.24	G	-2.74	-2.73	0.36	0.04
100	77.33	21.51	1.16	sbG	-2.51	-1.66	1.40	0.65
200	52.55	44.06	3.39	syG	-1.46	-0.39	2.50	0.43
300	33.80	64.40	1.80	gyS	-0.03	0.16	2.61	0.07
500	8.85	91.00	0.15	S	0.86	0.43	1.20	-0.36

3-3-10) 緑色岩 (表2-11', 手)

これについては30回は行っていないが、50回では砂分13%の含砂礫で、100回になると砂分30%の砂質礫となる。200回では砂分70%の礫質砂である。300-500回では、砂分87%以上の砂と粗粒・中粒砂となる。

以上のように、緑色岩でも手による意図的な打撃が破碎に有力である。

3-3-11) 蛇紋岩-2 (表2-12)

10回では含砂礫であるが、30-50回までは砂分が30-40%の砂質礫となる。しかし、100-200回では砂分は57-71%の礫質砂となる。さらに、300回になると砂分は85%の含礫砂で、500回では98%以上の中粒砂となる。

4. 岩石類の破碎実験による堆積学的研究

さらに、頻度曲線の図6 Aから明らかなように、50回までは -2ϕ のユニモードであるが、100回ではこの鋭いモードが左側の細粒側にシフトしはじめる。200回では緩やかなバイモードとなり、300回では 3ϕ のモードとなり、500回では 2ϕ の砂にモードが集中するユニモードとなる。

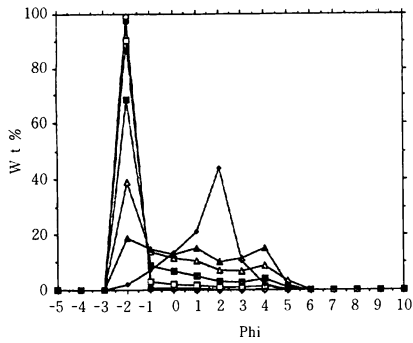


図4. 機械による破碎状態の頻度曲線の1例 (緑色岩, 11).

1, 10回 2, 30回 3, 50回 4, 100回
5, 200回 6, 300回 7, 500回

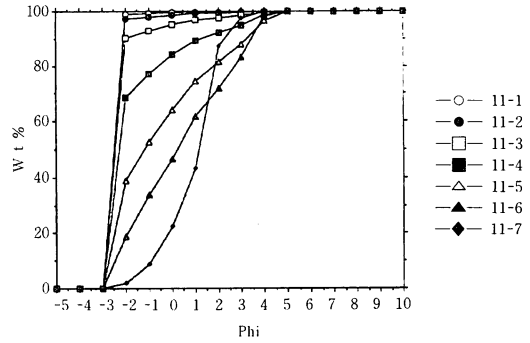


図5. 機械による破碎状態の積算曲線の1例 (緑色岩, 11).

1, 10回 2, 30回 3, 50回 4, 100回
5, 200回 6, 300回 7, 500回

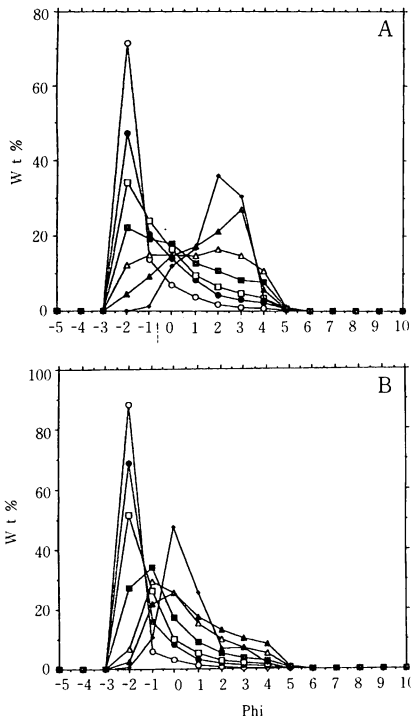


図6. 頻度曲線による蛇紋岩-2の機械 (A) と手 (B) による破碎状態の比較.

1, 10回 2, 30回 3, 50回 4, 100回
5, 200回 6, 300回 7, 500回

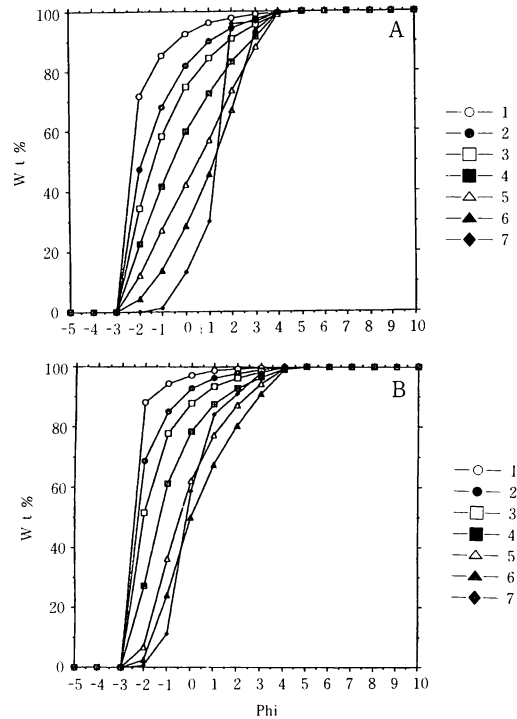


図7. 積算曲線による蛇紋岩-2の機械 (A) と手 (B) による破碎状態の比較.

1, 10回 2, 30回 3, 50回 4, 100回
5, 200回 6, 300回 7, 500回

満 塩 大 洗

さらに、これらを積算曲線で表現すると、図7Aとなる。打撃回数が多くなれば、グラフの曲線は右側の細粒側にシフトするが、これは硬いので破碎は困難で、緑色岩(図4)のように3乗曲線とはならない。

表2-11: 緑色岩 (手による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	97.92	2.06	0.02	G	-2.74	-2.80	0.34	-0.17
30								
50	86.70	13.06	0.24	sbG	-2.66	-2.34	0.77	0.41
100	67.80	30.80	1.40	syG	-2.41	-1.20	1.71	0.71
200	27.20	70.10	2.70	gyS	-0.29	0.49	2.28	0.34
300	10.04	87.67	2.29	S	0.86	1.00	1.97	0.07
500	1.02	98.61	0.37	S	1.11	1.07	1.16	-0.04

表2-12: 蛇紋岩-2 (機械による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	85.28	14.54	0.18	sbG	-2.57	-2.21	0.84	0.42
30	67.91	31.68	0.41	syG	-2.14	-1.49	1.46	0.45
50	58.26	40.95	0.79	syG	-1.63	-1.07	1.76	0.32
100	41.71	57.51	0.78	gyS	-0.83	-0.57	1.94	0.13
200	27.07	71.87	1.06	gyS	0.26	0.20	2.23	-0.03
300	13.71	85.85	0.44	gbS	0.91	0.60	1.74	-0.18
500	1.24	98.59	0.17	S	1.21	1.26	1.10	0.04

3-3-12) 蛇紋岩-2 (表2-12', 手)

手による打撃は10回では礫であるが、30-50回で砂分15-21%の含砂礫となる。100回で砂分38%の砂質礫となる。200回で礫質砂となり、300回は砂分75%の含礫砂となる。500回では砂分88%の粗粒砂となる。

表2-12': 蛇紋岩-2 (手による) (%)

回数	G	S	M	name	Md ϕ	M ϕ	$\sigma \phi$	$\alpha \phi$
10	94.22	6.76	0.02	G	-2.74	-2.74	0.40	0
30	84.89	15.09	0.02	sbG	-2.57	-2.20	0.86	0.43
50	77.78	21.96	0.26	sbG	-2.31	-1.83	1.14	0.42
100	61.22	38.28	0.50	syG	-1.63	-1.20	1.51	0.28
200	36.35	63.05	0.60	gyS	-0.77	-0.29	1.68	0.29
300	24.16	75.02	0.82	gbS	-0.29	0.20	1.96	0.26
500	11.21	88.67	0.12	S	-0.46	-0.24	0.96	0.22

4. 岩石類の破碎実験による堆積学的研究

頻度曲線では図6Bとなる。50回までは -2ϕ のユニモードであるが、100回ではこの鋭いモードが右側の細粒側にシフトし、 -1ϕ のユニモードとなる。さらに、200回・300回と回数が増えると、曲線はさらに細粒側にシフトするユニモードとなる。500回では 0ϕ のユニモードとなる。

積算曲線は図7Bのようになる。打撃回数が増えれば細粒側にシフトするが、これは手による破碎よりも、機械の場合のほうが細粒になりやすい。

このように、蛇紋岩の場合は他の岩石類とは逆に、機械による打撃のほうが手より速く破碎される。

以上のように、蛇紋岩の場合を除いて、一般的には機械よりも手による意図的な打撃が破碎に有力である。

3-4. 堆積パラメーター

次に上記で得られた資料から頻度曲線および積算曲線をひき、堆積パラメーターを算出したが、これらは膨大な量になるので、花崗岩・緑色岩・蛇紋岩-2のみを図示して、他は除外した(図8)。

3-4-1) 中央粒径値 $Md\phi$

図8には $Md\phi$ と打撃回数の変化を示している。花崗岩はもっとも左にあり、 $Md\phi$ 値が大きくなって、細粒になることが分かる。次に、斑レイ岩がきて、 0ϕ には約230回の打撃で達する。蛇紋岩は前述のように、最も硬くて 0ϕ に達するには約320回の打撃が必要である。

3-4-2) 分級度 $\sigma\phi$

これについては、花崗岩は約50-100回の打撃回数で約 2ϕ になり、礫と砂が混合して最も分級が悪くなる。しかし、打撃回数がさらに多くなるにつれて、この $\sigma\phi$ 値がさがり、再び分級がよくなる。斑レイ岩は約150-500回の打撃回数で分級が最も悪くなるが、1000回ではやや分級はよくなる。蛇紋岩は前述のようにもっとも硬く、約300回の打撃のときに最も分級が悪くなる。以後は砂分が増加して再び分級が良くなる。

3-4-3) $Md\phi$ と $\sigma\phi \cdot \alpha\phi$ の相関関係

これらの堆積パラメータのうち、 $Md\phi$ と $\sigma\phi \cdot \alpha\phi$ との相関関係は堆積物の特性の表示に使われるので、これによって、打撃によって破碎される各値と、自然界の河川・海岸・海底堆積物との比較を図9に示す(図9)。

以上の実験的な破碎による組成変化に伴う堆積パラメータのうち、 $Md\phi$ と $\sigma\phi \cdot \alpha\phi$ との相関関係は図9のように、おおむねW字型の1部の形態をなしている。また、 $Md\phi$ と $\alpha\phi$ との関係は、 -2.8ϕ 付近は始めの試料がサイコロ型のため、 $\alpha\phi$ 値は正から急に0に近づく。

このように、堆積パラメータの相関関係はW字型をとることは、既に Mitusio (1967) が北部九州の諸内湾の現世堆積物から指摘している⁵⁾。また、土佐湾の浦ノ内湾に流入する小河川の灰方川の現世河川堆積物の礫は最も粗粒で、分級はよい⁶⁾。さらに、土佐湾沿岸中央部の春野町付近の海岸堆積物は、かなりこれら火成岩の破碎に類似した値をとる⁷⁾。また、土佐湾海底の礫質堆積物は少なく砂泥が主要であり、より分級がよい値をとる⁸⁾⁻¹⁰⁾。さらに、四国吉野川の河口堆積物は図示はしていないが、分級はよい¹¹⁾。

また、土佐湾以外での海底堆積物では、福岡県糸島半島付近¹²⁾¹³⁾や対馬海峡付近¹⁴⁾⁻¹⁶⁾、さらに、東シナ海・黄海¹⁷⁾などのそれらと比較すれば、この実験的な破碎による組成のほうが前者より分級は悪い。

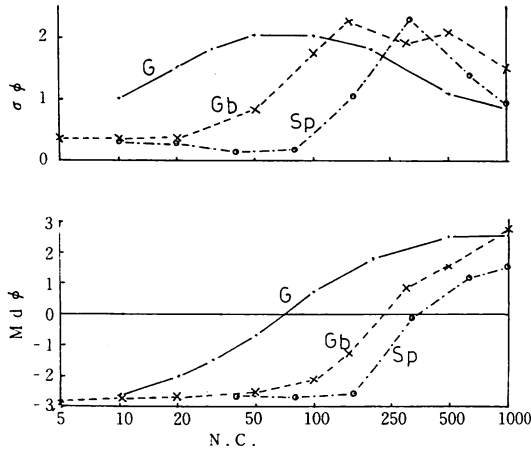


図8. 火成岩類の打撃回数による堆積パラメーターの変化。

G, 花崗岩(3) Gb, 斑レイ岩(4)
Sp, 蛇紋岩-1(5) N.C., 打撃回数

IV. ま と め

以上の各種の岩石類の破碎結果をまとめれば、次に要約される。

- 1) 破碎実験は機械の場合は約500回が適当である。
 - 2) 新鮮な砂岩は最も堅固であるが、風化物は非常に破碎されやすい。いっぽう、火成岩類は堆積岩類よりよく破碎される。
 - 3) 手による意図的な破碎が、蛇紋岩を除いて機械よりもよく破碎される。
 - 4) 破碎による堆積パラメーターの変化はW字型の1部の形態をとる。
 - 5) これら破碎した物と自然界の河川・海岸・海底の各堆積物との比較を行った。
- 今後とも風化・破碎作用の研究は重要であり、続行する予定である。

引用文献

- 1) 満塩大洗, 1989. 水熱条件下での続成作用の実験的研究. 文部省科研報告(一般B), 50pp.
- 2) 満塩大洗, 1985. 地質学・土壌学・土質工学における粒径区分の比較. 堆積報, (22/23): 117-121.
- 3) 満塩大洗, 1985. 風化変質作用の研究, 砂利資源の研究(1), 未利用資源の研究, その16. くらしお, 特別号, (7): 17-27.
- 4) Inman, F. L., 1956. Modal size analysis. *Jour. Sed. Pet.* 32: 123-132.
- 5) Mitusio, T. 1985. Bottom Sediment in Bays of North Kyushu. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., ser. D, Geology*, 18: 61-72.

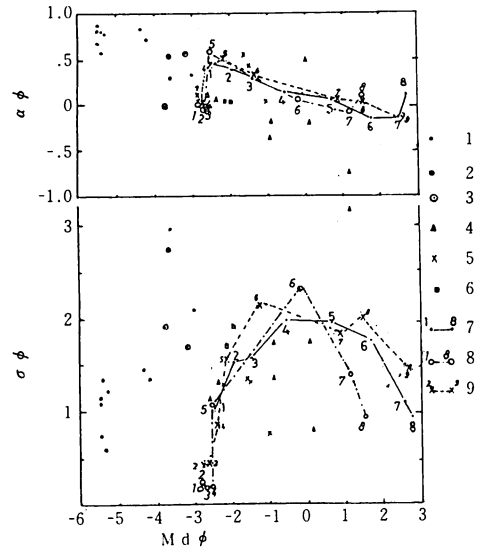


図9. 堆積パラメーターによる各種堆積物と破壊試験産物の比較。

- 1, 河川堆積物(灰方川) 2, 河川堆積物(物部川) 3, 河川堆積物(仁淀川)
 - 4, 海岸堆積物(土佐湾沿岸, 春野町)
 - 5, 北部九州浅海堆積物(糸島半島周辺, 礫のみ)
 - 6, 北部九州浅海堆積物(対島周辺, 礫のみ)
- 以下は破碎産物(数字は打撃回数, 表を参照);
- 7, 花崗岩 8, 蛇紋岩-1 9, 斑レイ岩

4. 岩石類の破碎実験による堆積学的研究

- 6) 満塩大洗, 1989. 小河川(灰方川)における河川堆積物の粒径変化. くろしお, 特別号, (1): 10-15.
- 7) 満塩大洗・前田良和, 1989. 河川・海岸堆積物の粒径変化. くろしお, 特別号, (1): 10-15.
- 8) 安田尚登・村山雅史・満塩大洗, 1989. 河口付近から海盆に至る堆積物の海洋地質学的研究(その1). くろしお, 特別号, (1): 29-34.
- 9) 満塩大洗, 1985. 土佐湾北東部の海底地質, 極浅海域の海洋地質, そのVI. 高大海洋センター報告, 7: 73-85.
- 10) Mitusio, T. 1985. Marine Geology of Tosa Bay, Marine geology of very shallow portions, Part VII. *Res. Rep. Kochi Univ.*, 34: 61-72.
- 11) 満塩大洗・平井信義, 1987. 四国吉野川の河口堆積物. 高大海洋センター報, 14: 10-18.
- 12) 満塩大洗, 1983. Bottom sediments in very shallow portions, Part III, Off Nogita, West of Fukuoka. *Mem. Fac. Sci. Kochi Univ., ser. E, Geology*, 4: 1-12.
- 13) 満塩大洗, 1988. 極浅海域の海洋地質, そのXII, 福岡県糸島半島周辺の底質. 宇佐海洋センター報告, 10: 29-38.
- 14) 満塩大洗・浜田七郎, 1986. 九州北西部, 壱岐水道の底質, 極浅海域の海洋地質, そのX. 高大学研報, 35: 17-28.
- 15) 満塩大洗・浜田七郎, 1987. 対馬上県東方の底質, 極浅海域の海洋地質, そのXI. 宇佐海洋センター報告, 9: 79-86.
- 16) 満塩大洗・安田尚登, 1989. 対馬海峡周辺の第四紀層, 特に陸橋問題. 第四紀研究, (29): 281-282.
- 17) 浜田七郎・満塩大洗, 1987. 東シナ海・黄海域における堆積物の海底地質学的区分. 西海区水研報告, (64): 19-27.