

沖縄県内主要土壌の粒度分布および 流出濁水における懸濁物質の粒度分布

座間味佳孝・知花睦・金城孝一

The Particle Size Distribution of the Soils Distributed in Okinawa and the Particle Size of Suspended Solids in Turbid Water

Yoshitaka ZAMAMI, Chikashi CHIBANA and Koichi KINJO

要旨：県内の主要土壌である国頭マージ、島尻マージ、ジャーガル、およびジャーガルの母岩であるクチャは粒子が細かく、ろ紙を透過するためにSSの測定値、土壌汚染対策法に基づく溶出試験値に影響を与える可能性がある。本報では、1994年2月から1999年4月にかけて採取された試料について、その粒度分布、特に1 μm以下、0.45 μm以下の粒径に着目し解析を行った。その結果、濁水に含まれる懸濁物質はシルトの割合が最も高かった。また、濁水における1 μm以下の粒度分布は、土壌の種類によって差異が認められ、ジャーガルの割合が最も高く、次いで島尻マージ、国頭マージ、クチャの順となった。また、SS測定の際、4.31%–31.2%程度の粒子が捕捉されない可能性がある。同様に0.45 μm以下の粒度分布についてもジャーガルの割合が最も高く、0.45 μm以下の粒子の最大割合が0.50%–3.79%となった。土壌汚染対策法における溶出試験ではこれを考慮する必要がある。

Key words：赤土、粒度分布、国頭マージ、島尻マージ、ジャーガル、クチャ、浮遊状粒子物質、土壌汚染対策法

I はじめに

沖縄県は、国頭マージ、島尻マージ、ジャーガルなど沖縄特有の土壌を有している。これらの土壌は団粒構造が乏しく、シルト・粘土分が火山灰土壌や黒ボク土などに比べ高い割合で存在する^{1) 2)}。また、ジャーガルの母岩であるクチャは1、2回の乾湿が繰り返されると表面が細かくなり(ストレーキング)、さらに約9回以上の乾湿によってシルト大の粒子が粘土化していく³⁾。

水質汚濁防止法に基づく浮遊物質(SS)の測定では保留粒子径1 μmのろ紙を、土壌汚染対策法に基づく溶出試験では保留粒子径0.45 μmのろ紙を用いる。しかし、粒径の小さい沖縄県の土壌では、ろ紙に土壌の粒子全てが捕捉されず、ろ液が懸濁することがある。このような粒子の透過は、SSの測定値が実際の環境状況を反映しない可能性を生み、また土壌の溶出試験に影響を与える原因となり得る。しかし、粒径が1 μm以下や0.45 μm以下の粒子がどの程度含まれているかの知見は乏しいため、シルト・粘土分の多い県内主要土壌の詳細な粒度分布を解析することは重要である。

当所では、これまで県内の主要土壌およびクチャの粒度分布を調査してきた。本報では、これまでに採取された土壌及び流出濁水における懸濁物質の粒度分布について、地質学で分類される粘土(2 μm)以下の粒径を持つ粒子、特に1 μm以下や0.45 μm以下のものに着目し、

解析したので報告する。

II 解析方法

1. 解析に用いた試料

1994年2月から1999年4月にかけて採取された県内の土壌(392試料)および濁水(412試料)、湧水(36試料)について解析を行った。また本報では、土壌または底質試料を土壌、開発現場および農地からの表流水、河川水、沈砂池等の貯留水を濁水、濁水のうち、特に降雨により発生した濁水が直接地下水脈に流入し、海岸付近で湧出したものを湧水とした。

2. 解析方法

採取された試料は地域ごとに国頭マージ、島尻マージ、ジャーガル、クチャに分類した。ただし、島尻マージ地域の試料には、クチャが客土されていると考えられる試料も含まれていたが、島尻マージとして解析した。

採取された試料の粒度は、レーザー回折式粒度分布測定装置SALD-3000(島津製作所)で測定されたものを用いた。今回は国際土壌学会法に基づき、粗砂(200–2000 μm)、細砂(20–200 μm)、シルト(2–20 μm)、また本報では2 μm以下の粒子である粘土をさらに1–2 μm、0.45–1 μm、0.45 μm以下に細分し、0.45–1 μmを微細粒子、0.45 μm以下を極微細粒子と定義した(表1)。その粒度分布を体積存在割合で解析した。

Ⅲ 結果・考察

1. 各土壌の平均粒度分布

土壌，濁水，湧水全ての試料における平均粒度分布を表2に示す。4種全てでシルトが60%前後と最も多く，次に細砂，粘土となった。また，国頭マージ，クチャでは粘土の次に粗砂，微細粒子，極微細粒子と続き，島尻マージ，ジャーガルでは，微細粒子，粗砂，極微細粒子と続いた。極微細粒子について，ジャーガルが他の土壌より高い値を示した (t-test, $p < 0.01$)。

土壌試料における平均粒度分布を表3に，濁水試料における平均粒度分布を表4に示す。クチャを除く主要土壌では，濁水中のシルト以下の存在割合が，土壌に比べ高い傾向が見られた (図1)。

湧水試料における平均粒度分布を表5に示す。湧水では島尻マージ，ジャーガルともにシルトが60-70%となった。また，島尻マージでは土壌，濁水に比べシルト以下の粒子割合が高い値を示した。

表1. 土壌粒子の地質学的分類 (上)
および本報における定義 (下).

粒子名	直径 (μm)
粗砂	200-2000
細砂	20-200
シルト	2-20
粘土	1-2
微細粒子	0.45-1
極微細粒子	≤0.45

表2. 沖縄県の主要土壌およびその濁水，湧水における平均粒度分布. (S.D. : 標準偏差)

直径 (μm)	分類	国頭マージ□ (n=337)		島尻マージ□ (n=201)		ジャーガル□ (n=202)		クチャ□ (n=80)	
		%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.
200 < d ≤ 2000	(粗砂)	5.09	13.9	2.22	6.24	0.84	2.69	3.02	4.26
20 < d ≤ 200	(細砂)	25.2	16.6	21.7	15.2	17.1	12.6	34.5	12.8
2 < d ≤ 20	(シルト)	60.3	20.6	65.4	15.8	68.6	11.7	55.7	14.0
1 < d ≤ 2	(粘土)	6.39	6.03	7.65	4.66	9.59	6.13	4.70	2.39
0.45 < d ≤ 1	(微細粒子)	1.98	2.20	2.41	1.66	3.30	3.22	1.59	1.04
d ≤ 0.45	(極微細粒子)	0.38	0.53	0.38	0.47	0.56	0.57	0.39	0.56

表3. 沖縄県の主要土壌における平均粒度分布.

直径 (μm)	分類	国頭マージ□ (n=106)		島尻マージ□ (n=126)		ジャーガル□ (n=83)		クチャ□ (n=77)	
		%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.
200 < d ≤ 2000	(粗砂)	3.58	5.97	3.96	8.17	1.88	3.96	2.88	4.17
20 < d ≤ 200	(細砂)	30.3	13.5	27.4	15.5	24.4	11.6	34.5	12.5
2 < d ≤ 20	(シルト)	57.8	16.0	59.3	18.3	64.2	13.3	56.0	13.7
1 < d ≤ 2	(粘土)	5.75	5.49	6.46	4.03	6.64	2.64	4.65	2.25
0.45 < d ≤ 1	(微細粒子)	1.84	1.24	2.14	1.33	2.26	1.26	1.58	1.03
d ≤ 0.45	(極微細粒子)	0.44	0.46	0.46	0.54	0.54	0.58	0.39	0.57

表4. 沖縄県の主要土壌から生じる濁水における平均粒度分布.

直径 (μm)	分類	国頭マージ□ (n=231)		島尻マージ□ (n=62)		ジャーガル□ (n=116)		クチャ□ (n=3)	
		%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.
200 < d ≤ 2000	(粗砂)	5.78	16.3	0.30	0.95	0.09	0.30	6.81	5.90
20 < d ≤ 200	(細砂)	22.8	17.3	17.0	12.0	11.6	9.98	35.3	24.9
2 < d ≤ 20	(シルト)	61.5	22.3	71.5	8.01	71.9	8.96	49.6	23.6
1 < d ≤ 2	(粘土)	6.69	6.26	8.41	4.35	11.8	6.99	5.78	5.62
0.45 < d ≤ 1	(微細粒子)	2.04	2.52	2.47	1.54	4.07	3.93	1.94	1.62
d ≤ 0.45	(極微細粒子)	0.36	0.56	0.32	0.22	0.57	0.57	0.37	0.12

表5. 沖縄県の主要土壌から生じるの湧水における平均粒度分布.

直径 (μm)		島尻マーヅ□ (n=33)		ジャーガル□ (n=3)	
		%	S.D.	%	S.D.
200	$< d \leq 2000$ (粗砂)	0.28	1.29	1.25	2.14
20	$< d \leq 200$ (細砂)	12.7	12.3	25.6	26.6
2	$< d \leq 20$ (シルト)	73.4	8.91	63.0	21.3
1	$< d \leq 2$ (粘土)	10.1	5.86	7.23	5.94
0.45	$< d \leq 1$ (微細粒子)	3.15	2.45	2.45	2.57
	$d \leq 0.45$ (極微細粒子)	0.45	0.56	0.45	0.62

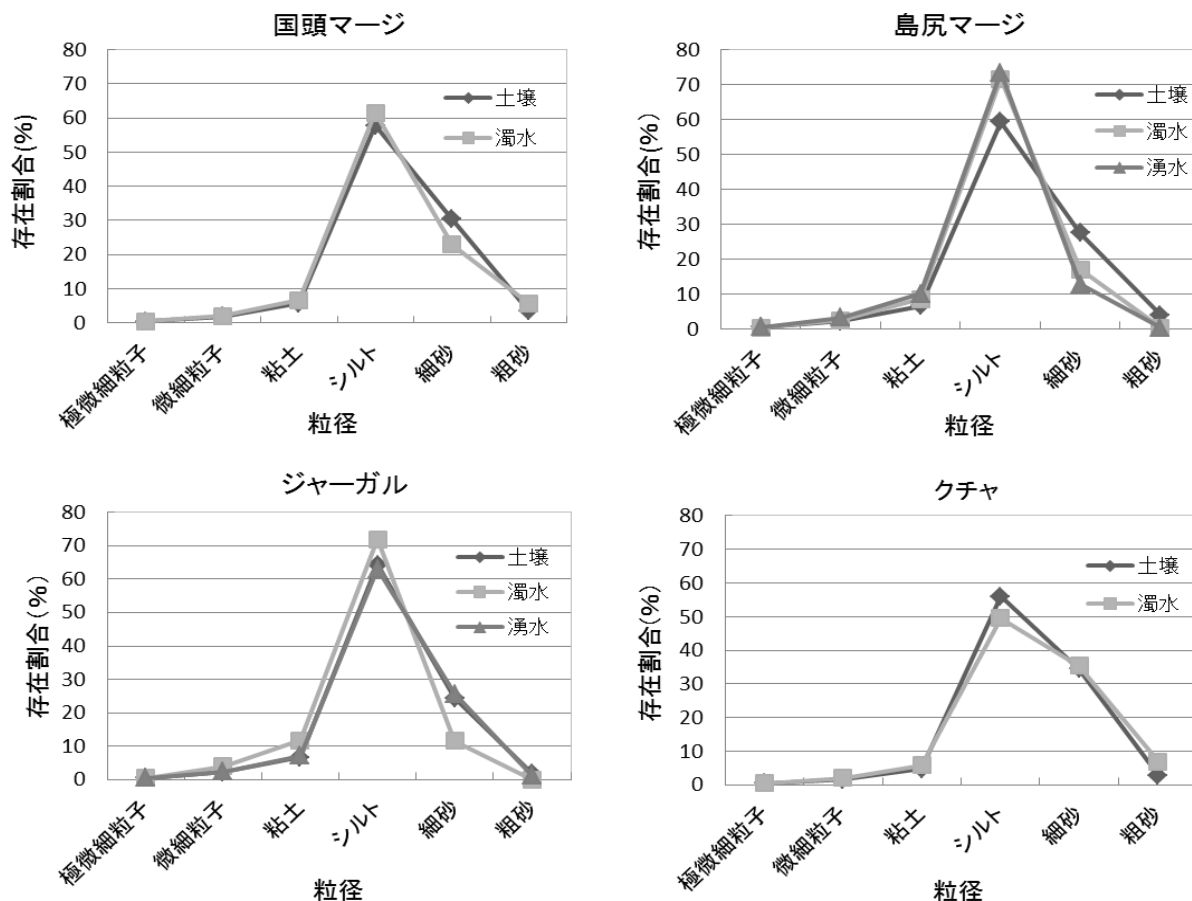


図1. 土壌、濁水、湧水中に含まれる懸濁物質の粒度分布.

2. 微細粒子の粒度分布について

全試料、土壌、濁水、湧水における主要土壌ごとの微細粒子の粒度分布を表6に示す。全試料では微細粒子の割合はジャーガルが最も高く、次いで島尻マーヅ、国頭マーヅ、クチャの順となった。また、土壌、濁水の粒度分布についても同様な傾向となった。

各主要土壌における濁水中の微細粒子以下(極微細粒子を含む)の最大含有量を表7に示す。最大含有量は、国頭マーヅが17.1%、島尻マーヅが7.4%、ジャーガルが31.2%、クチャが4.3%となった。そのため、SSの測定において保留粒子径1 μm のろ紙を使用する場合、各主要土壌によ

って4.31%–31.2%程度の粒子が捕捉されない可能性がある。よってSSの量が環境基準値未満の地域でも注意が必要である。特に、ジャーガルの濁水中に含まれる微細粒子、極微細粒子の割合は、他の主要土壌に比べ高い結果が得られた(t-test, $p < 0.01$)のため、ジャーガル地域では注意が必要である。

3. 極微細粒子の粒度分布について

全体、土壌、濁水、湧水における主要土壌ごとの極微細粒子の粒度分布を表8に示す。濁水において、ジャーガルが国頭マーヅ、島尻マーヅに対して高い値を示した(t-test, $p < 0.01$)。

濁水中の極微細粒子の最大含有量を表9に示す。最大含有量は、国頭マージが2.76%、島尻マージが0.97%、ジャーガルが3.79%、クチャが0.50%となった。そのため、土壌汚染対策法に基づく溶出試験において保留粒子径 0.45 μm のろ紙を使用した場合、各主要土壌によって0.50%–3.79%程度の粒子が捕捉されない可能性がある。また、本報では土壌の団粒化構造を壊していない分析結果を用いたが、自然界において何らかの影響で団粒化構造が壊れた場合、さらに微細粒子以下の割合が増える可能性もある。

土壌汚染対策法による規制物質のうち、地殻中に多く存在する元素として鉛 (14 mg/kg)、砒素 (1.5 mg/kg) が挙げられる⁴⁾。溶出試験においてる液に極微細粒子が混入した場合を仮定し、今回の値と文献値を用いて土壌由来の鉛、砒素濃度の基準値に占める割合を算出すると、鉛で $7.0 \times 10^{-3} \text{ mg/L} - 5.3 \times 10^{-2} \text{ mg/L}$ 、砒素で $7.4 \times 10^{-4} \text{ mg/L} - 5.6 \times 10^{-3} \text{ mg/L}$ となり、それぞれ基準値の70%–530%、7.5%–57%を占める。よって、土壌汚染対策法に基づく溶出試験の結果に、極微細粒子の与える影響は大きい。

表6. 各試料における微細粒子の粒度分布.

	国頭マージ		島尻マージ		ジャーガル		クチャ	
	%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.
全体	2.36	2.26	2.79	1.72	3.86	3.27	1.98	1.18
土壌	2.28	1.32	2.59	1.44	2.80	1.39	1.97	1.18
濁水	2.40	2.58	2.79	1.55	4.64	3.97	2.31	1.62
湧水			3.60	2.51	2.90	2.65		

表7. 濁水中に含まれる微細粒子以下の最大値 (%) .

国頭マージ	17.0
島尻マージ	7.35
ジャーガル	31.2
クチャ	4.31

表8. 各試料における極微細粒子の粒度分布.

	国頭マージ		島尻マージ		ジャーガル		クチャ	
	%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.	%	S.D.
全体	0.38	0.53	0.38	0.47	0.56	0.57	0.39	0.56
土壌	0.44	0.46	0.46	0.54	0.54	0.58	0.39	0.57
濁水	0.36	0.56	0.32	0.22	0.57	0.57	0.37	0.12
湧水			0.45	0.56	0.45	0.62		

表9. 濁水中に含まれる極微細粒子の最大値 (%) .

国頭マージ	2.76
島尻マージ	0.97
ジャーガル	3.79
クチャ	0.50

IV まとめ

濁水は各主要土壌でシルトの割合が最も高かったが、クチャ、国頭マージでは次に細砂の割合が高く、島尻マージ、ジャーガルでは粘土以下の割合が高くなった。

微細粒子および極微細粒子の粒度分布は、ジャーガルが最も割合が高く、島尻マージ、国頭マージ、クチャの順となった。SS測定では4.31%–31.2%程度の粒子がろ紙に捕捉さないため、SSの値が環境基準値未満の地域でも注意が必要である。

極微細粒子の粒度分布はジャーガルの割合が最も高かった。また、極微細粒子の最大割合は0.50%–3.79%となり、土壌汚染対策法における溶出試験値に与える影響は大きい。また、今回の解析では土壌の団粒化構造を壊していない分析結果を用いたが、自然界において何らかの影響で団粒化構造が壊れた場合、さらに微細粒子以下の割合が増える可能性もある。

V 参考文献

- 1)岡本健・酒井一人・吉永安俊(2011) 沖縄の土壌の粒径分析における分析手法の影響 農業農村工学会講演会講演要旨集 p352–353
- 2)植木基晴・松本和正・小島一宏(2005) 締め固めた北海道火山灰土の透水性 全国地質調査業協会連合講演要旨集
- 3)小宮康明・新城俊也(1978) 乾湿繰返しによる島尻層泥岩における2, 3の物理的性質の変化 琉球大学農学部学術報告 25. pp, 295–305
- 4)山崎昶(2003) 化学データブック I 無機・分析編 朝倉書店 p10