

8. 沖縄県における赤土汚染問題に関する研究

Pollution Problem of Red Soils in Okinawa

齊藤和伸*1・山口晴幸*1・岩田道春*1・増永和弘*2

Kazunobu SAITO*1・Hareyuki YAMAGUCHI*1・Michiharu IWATA*1・Kazuhiro MASUNAGA*2

ABSTRACT ; In Okinawa, outflow of red soils from the areas of public utility, developments of farmland and resort, establishments of the U.S. armed forces becomes an important social problem. This problem gives serious damage to the sea environment, fishing industry and the tourist industry. Therefore regulation to prevent outflow of red soils took effect in 1997. This regulation obliges public and private enterprise to some counter plans and managements for prevention of outflow of red soils. One of some counter plans is sand sedimentation tank . A measure of muddy water for effluent uses concentration of suspended solids. But this measure needs time and energy, so new measuring system is required. In this paper, the authors describe principle and method of new Measuring Equipment for Evaluation of Muddy Water (MEE). And we carried out pollution situation of the beach sand and the various chemical experiments on the some red soils (pH, Electric Conductivity, Water-Soluble Components of Soils, Fluorescent X-ray Diffraction).

KEYWORDS ; Red Soil・Degree of Turbidity・Suspended Solid・Sand Sedimentation Tank・MEE

1 はじめに

九州から台湾の間、約 1300km の範囲に弧状に連なる多くの島々は、琉球列島とよばれている。沖縄県はその南半に位置し、温暖で湿潤な亜熱帯性の気候条件により、日本本土とは異なった動植物が数多く存在している。またその周辺海域はサンゴ礁が形成され、多種多様な生物の生息する自然豊かな環境を育んでいる。その沖縄県は、現在深刻な環境問題を抱えている。それは赤土の海域への流出問題である。この問題は 1972 年の本土復帰以降に顕著となった。その原因として、沖縄県振興開発計画による道路・港湾・空港などの大規模公共事業や土地改良事業といわれる農地基盤整備事業、民間企業のリゾート施設建設事業、そして米軍接収用地内の演習場などの地域からの流出が挙げられる。これらの地域から流出した赤土は、海域のサンゴの減少または死滅をもたらし、海環境とそれに依存している漁業、養殖業そして観光業に深刻な影響を与えている。このため沖縄県は、赤土流出防止対策として 1995 年 10 月に「赤土等流出防止条例」を施行し、事業行為を行う者に対して赤土の流出を最小限に押えるため、流出防止施設の設置および管理を義務付けている。その流出防止施設の 1 つとして赤土流出河川に貯留型沈砂池（写真－1）を設置した地域がある。貯留型沈砂池とは赤土を含む河川水を一時的に貯留して赤土粒子を自然沈降させ、濁水の指標である浮遊物質（SS 濃度）が低下した後に放流を行う施設である。放流規準は SS 濃度の測定値が 200mg /l 以下と定めら

*1 防衛大学校建設環境工学科

Department of Civil and Environmental Engineering (National Defense Academy)

*2 (財) 防衛周辺整備協会 企画研究部

Department of Planning Research (Defense Facilities Administration Agency)

れている。この SS 濃度の測定は、乾燥器やろ過装置などの器材を使用するため室内で行われる。このため採水から放流開始の決定までかなりの時間と労力を要する。また現場において放流の決定を下せないことから効率化の妨げとなっている。他の測定法として透視度計や濁度計を使用する簡易測定により SS 濃度を推定する方法もあるがこの場合も現地での採水・計量が必要であり、容易な測定方法とは言えない。よって採水が不要であり、測定が簡易に実施できる自動測定システムが求められている。このため著者らは、簡易自動測定装置として濁水評価測定装置の開発を試みている。本報告では、その濁水評価測定装置の原理・測定方法について論述している。さらに貯留型沈砂池内の赤土の化学的性質および赤土流出に起因する海浜砂の汚染状況についても考察を行っている。

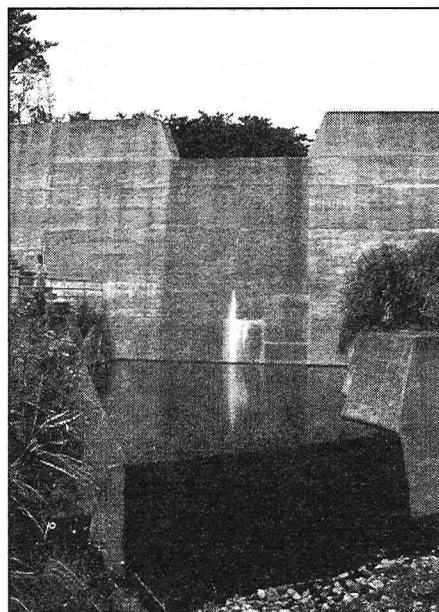


写真-1 貯留型沈砂池

2 調査地点および実験方法

調査対象地域は沖縄本島中部地域に位置し、2002 年 8 月に赤土および海浜砂の調査を実施した。調査地点を図-1 に示す。調査対象とした貯留型沈砂池の設置地点は、太平洋側に 10 地点、東シナ海側に 3 地点の計 13 地点である。また海浜砂を調査した地点は、太平洋側に 16 地点、東シナ海側に 10 地点の計 26 地点である。この調査を行った本島中部地域の土壌分布について図-2 に示す。中部地域の大部分は国頭マージと呼ばれる赤土により占められ、一部地域に島尻マージと呼ばれる赤土と沖積土壌の堆積が認められる。

本研究では、13 地点の貯留型沈砂池に堆積した赤土を採取して赤土懸濁水の水素イオン濃度 (pH)、電気伝導度 (EC) を測定すると共に水溶性成分試験としてイオンクロマトグラフィーを使用した溶出化学成分組

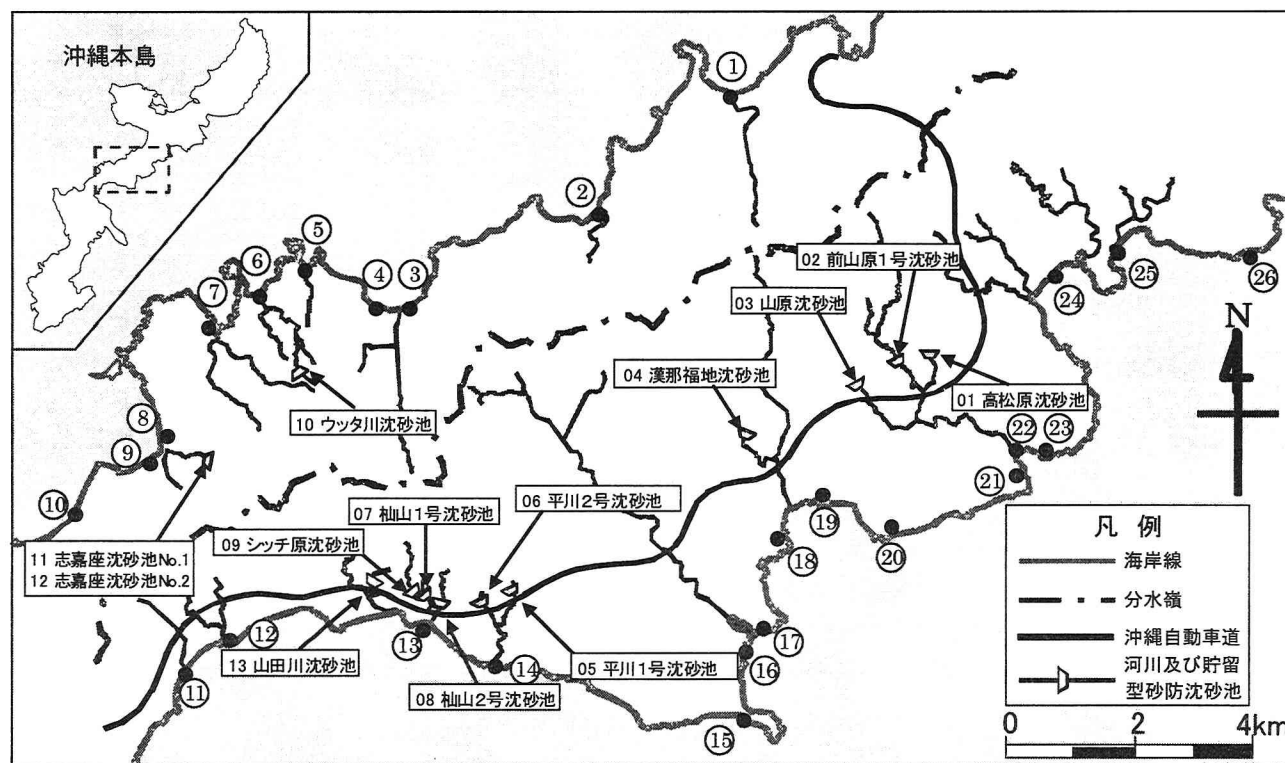


図-1 沖縄県中部地域における沈砂池設置地点および海浜砂調査地点

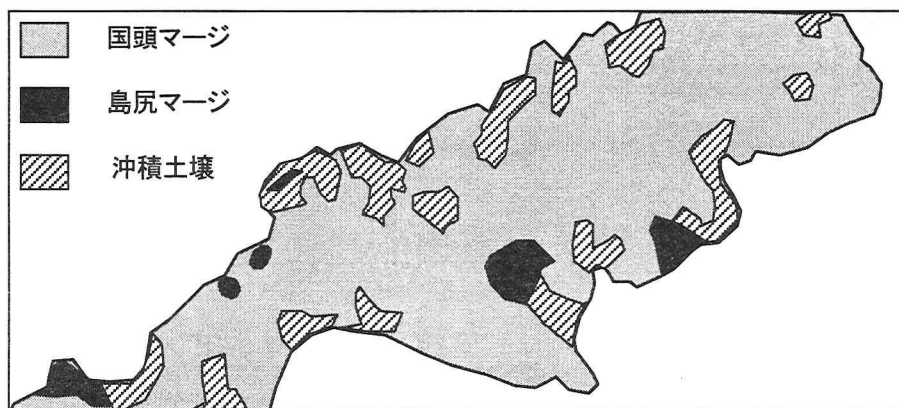


図-2 沖縄県中部地域土壌図

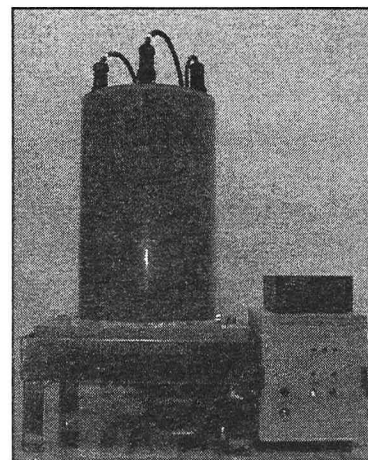


写真-2 測定ユニットおよび制御部

成および蛍光X線回折装置による含有元素組成に関する測定を実施している。また濁水評価測定装置での測定に使用した赤土濁水は、採取した赤土を乾燥・調整した試料に蒸留水を添加し種々の土粒子濃度の懸濁水として作製した。

3 濁水評価測定装置

(1) 装置の概要および測定・解析

濁水評価測定装置は、水中の赤土懸濁水の輝度を測定するために使用され、写真-2の左側の測定ユニットおよび右側の制御部そして測定データの取得・解析を行うパソコンから構成される。測定は、写真-3の測定ユニット底部にある測定容器内で行われ、光により濁水中の土粒子に反射光が生じることを利用してその輝度を測定する構造となっている。本研究では、この装置により測定された輝度とSS濃度の相関関係を求め、輝度からSS濃度の推定の適否についての考察を行っている。測定装置の概略図について図-3に示す。図-3(a)の測定ユニット内にある光源は比較的広い波長域を有するハロゲンランプを使用し、また安定な輝度を得るために低電圧化している。ファイバについては照射出口での輝度むらを極力低減するために、ランダムに配置されたものを使用している。そのファイバの形状は光源の進入部では円形状、照射部では長方形のスリット状になっている。照射により濁水に生じた反射光は、測定ユニット内部の3CCDカラーカメラにより上方から撮影され、R、G、B (Red, Green, Blue)

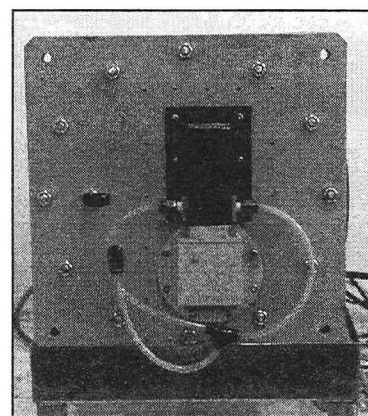


写真-3 測定ユニット底部

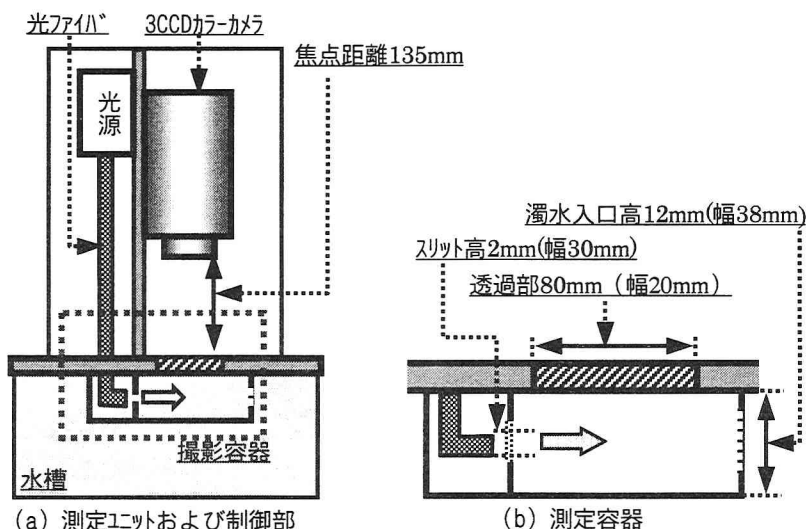


図-3 濁水評価測定装置概略図

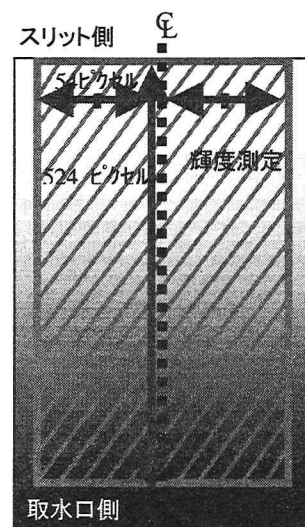
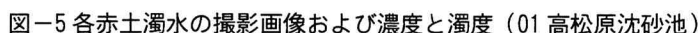


図-4 撮影画像解析使用領域



1	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

測定では、赤土懸濁水の土粒子濃度を 50mg/l~1000mg/l の範囲で 50mg/l ずつ濃度を高め、計 20 ケースの濃度調整した懸濁水について行った。その各濁水に対して輝度測定を実施した。その測定中、濁水の土粒子の沈降を防ぐためにポンプおよびマグネチックスターラーを使用して攪拌を行った。また各濁水の濁度について濁度計による測定を実施した。輝度測定結果の内、01 高松原沈砂池の赤土試料で作製した各濁水の撮影画像および調整濃度と濁度について図-5 に示す。図中の撮影画像をみると、各濃度において撮影時の反射光の度合いが異なっていることが分かる。調整濃度が低い場合は土粒子が少なく照射光が透過するため、反射光は全面に淡く現れている。しかし反射光は調整濃度が高くなり土粒子濃度が増加するにつれてスリット部側に現れている。このため照射光が到達していない暗部が徐々に増加する傾向にあることが分かる。この各撮影画像を専用ソフトウェアにより解析した結果が表-1 である。この表は 01 高松原沈砂池の色調 Red についての解析結果である。表の行が下に行くにつれて、調整濃度の高い撮影画像が解析されている。実際の解析画像は輝度値 0~255 の間で 2 輝度値ごとに分けられ、128 個の階級で表示される(表-1 については、4 輝度値ごとに区分したものを表示)。解析された R, G, B (Red, Green, Blue) の各色調の輝度は、区分された表内の該当する各輝度値に度数分布表示される。この各階級の輝度値に表示された値が輝度数である。また輝度分布表の輝度数の総和が撮影された画像の総輝度となる。表-1 では各濃度で輝度値の取り得る値が異なっていることから、各濃度において撮影された土粒子の反射光に差異が生じていることが分かる。本研究では、光のムラなどによる影響を考慮して輝度値 0~255 の範囲の内、40~174 の範囲にある輝度数の和を求め、R, G, B の各色調の輝度とした。この求めた輝度数の和を「選定輝度」とし、SS 濃度との相関関係について求める際に使用した。

SS 濃度と選定輝度の関係を考察するため、SS 濃度と相関関係にある濁度と選定輝度（輝度値 40～174

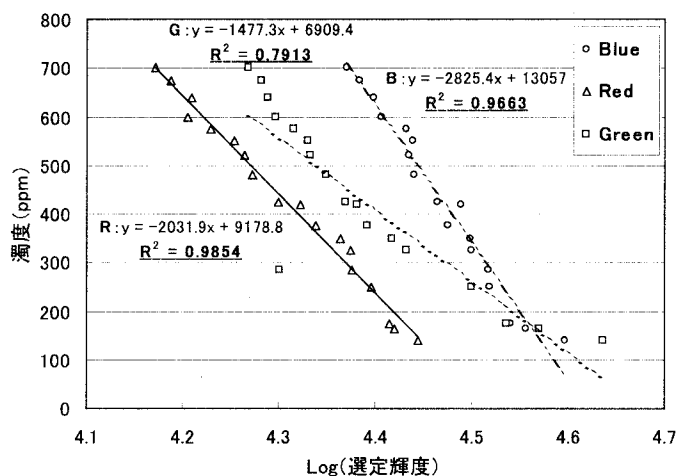


図-6 選定輝度～濁度関係（高松原沈砂池）

表-2 沈砂池の各色調の R^2 値

No	採取地点	R^2 値		
		Blue	Red	Green
1	高松原沈砂池	0.9663	0.9854	0.7913
2	前山原1号沈砂池	0.3100	0.9919	0.9460
3	山原沈砂池	0.9568	0.9034	0.8428
4	漢那福地沈砂池	0.7810	0.9630	0.9240
5	平川1号沈砂池	0.9182	0.9932	0.9372
6	平川2号沈砂池	0.9488	0.9904	0.9546
7	杣山1号沈砂池	0.7331	0.9868	0.9688
8	杣山2号沈砂池	0.9828	0.9951	0.9502
9	シツチ原沈砂池	0.9615	0.9925	0.8966
10	ウツタ川沈砂池	0.5722	0.9778	0.9539
11	志嘉座沈砂池No. 1	0.4955	0.9768	0.9569
12	志嘉座沈砂池No. 2	0.4015	0.9669	0.9565
13	山田川沈砂池	0.9269	0.9756	0.9459

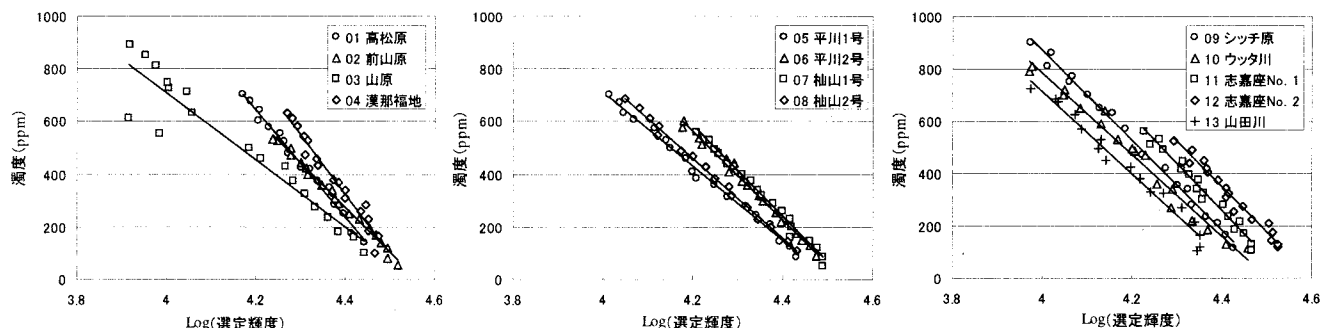


図-7 各沈砂池選定輝度～濁度関係

間の輝度数の和) の関係を求めた。図-6 は、濁水評価測定装置により求めた 01 高松原沈砂池の選定輝度と各濁水で測定した濁度の関係について片対数紙上に表示したものである。図中の R, G, B の各色調における選定輝度の対数値と濁度の関係には線形性が見られ、傾きや切片は異なっているが濁度が増加すると減少する傾向を示している。この各色調の選定輝度～濁度関係の近似式を見た場合、色調 R (Red) の R^2 値が最も高くなっている。この傾向は、測定を行った他の沈砂池の赤土試料においても見られ、表-2 に示すように 13 沈砂池中 12 地点で色調 R (Red) が最も高くなった。その結果より色調 R の場合の選定輝度～濁度関係について図-7 に示す。同図より各沈砂池の濁度は、構成土粒子の粒子特性の相違などにより取り得る濁度範囲に差異がある。しかしながら各沈砂池の選定輝度～濁度関係には良好な線形性があることが分かる。図-8 には 01 高松原沈砂池の SS 濃度～濁度の関係を表している。この関係図は、降雨終了後数日から 1 週間程度にわたり沈砂池内の貯留水において表層、中層、低層および放流水から採水した現地の濁水から SS 濃度と濁度を測定したものである。降雨終了後数日間経過した後の採水であるため、赤土濁水の濁度が低い、この図から濁度と SS 濃度の近似直線には線形性があるといえる。この線形性

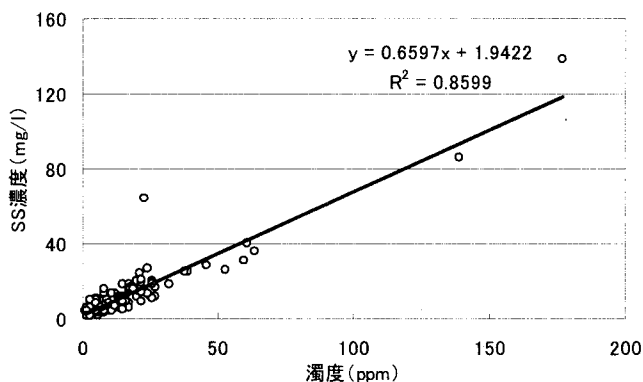


図-8 SS 濃度～濁度関係

表-3 沈砂池の SS 濃度～濁度近似曲線

地域	採水位置	傾きA	切片B	R^2
太平洋側	01 高松原	0.660	1.942	0.860
	02 前山原	0.681	3.668	0.522
	03 山原	0.655	1.725	0.853
	04 漢那福地	0.843	-1.042	0.889
	05 平川1号	0.835	0.131	0.844
	06 平川2号	0.683	1.393	0.932
	07 杣山1号	0.569	3.486	0.662
	08 杣山2号	0.530	2.513	0.874
	09 シツチ原	0.743	-0.667	0.994
東シナ海側	10 ウツタ川	0.696	3.031	0.845
	11 志嘉座No.1	0.681	1.728	0.839

は、採水を実施した他の 10 地点についても同様に見られた。各沈砂池において求めた近似直線の傾き・切片・ R^2 について表-3 に示す。次に SS 濃度～濁度関係および選定輝度～濁度関係から求めた各相関式を基に選定輝度～SS 濃度関係(図-9)を作成し、各沈砂池における近似直線を求めた。図-9 から SS 濃度が約 100～900mg/l の範囲では、選定輝度～SS 濃度の関係に良好な線形性が存在しているといえる。沖縄県赤土等流出防止条例において沈砂池の濁水排出規準は、SS 濃度 200mg/l 以下となっていることから、図-9 の結果は SS 濃度の輝度による推定が可能であることを示している。

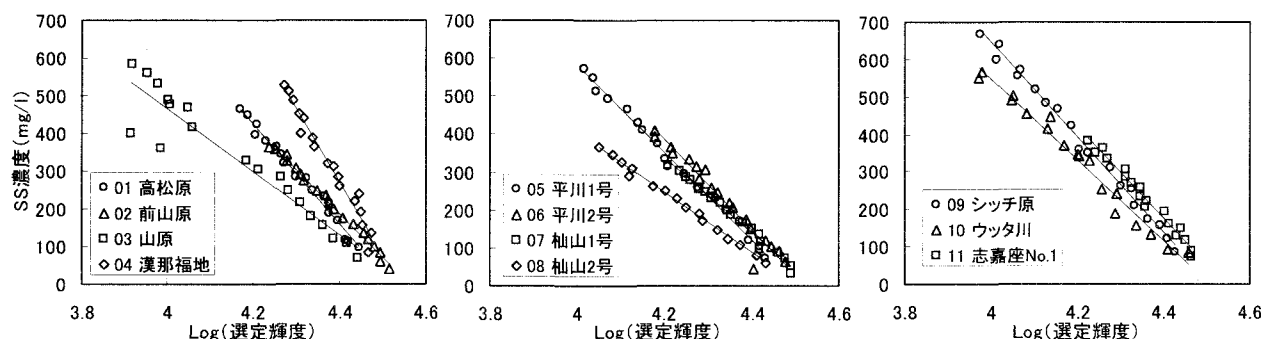


図-9 各沈砂池の選定輝度～SS 濃度関係

4 赤土の化学的性質

図-10 は、採取した各赤土試料の水素イオン濃度(pH)および電気伝導度(EC)を示している。赤土の pH 値は 4.8～7.5 の範囲にあり、強酸性～弱アルカリ性を呈している。一般的な赤土の特徴として国頭マージは強酸性、島尻マージは弱酸性～弱アルカリ性であることから、各沈砂池で採取した赤土には、流出地域の赤土の土壌の性質が表れている。赤土の EC 値については、東シナ海側の 3 地点では 50 μ S/cm 前後の値を示している。しかしながら太平洋側の 10 地点の EC 値を見ると 50～700 μ S/cm と各沈砂池で大きな差異が生じている。中でも 02 前山原, 08 杉山 2 号, 13 山田川の各沈砂池では 400 μ S/cm を越える高い値を示している。EC 値は土の化学成分溶出量の指標となることから、これらの沈砂池で採取した赤土は化学成分溶出能力が高い土であると推測できる。EC 値が化学成分溶出量の指標であることを図-11 に示す。これは電気伝導度 (EC) ～総溶出陰・陽イオン量関係として求めている。総溶出陰・陽イオン量は、水溶性成分試験により求めた赤土の各イオン溶出化学成分量の総和で

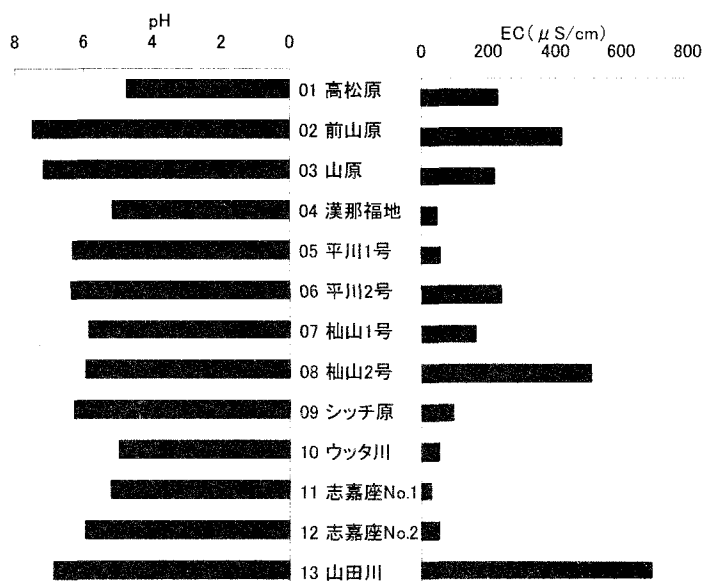


図-10 赤土の水素イオン濃度 (pH) および電気伝導度 (EC)

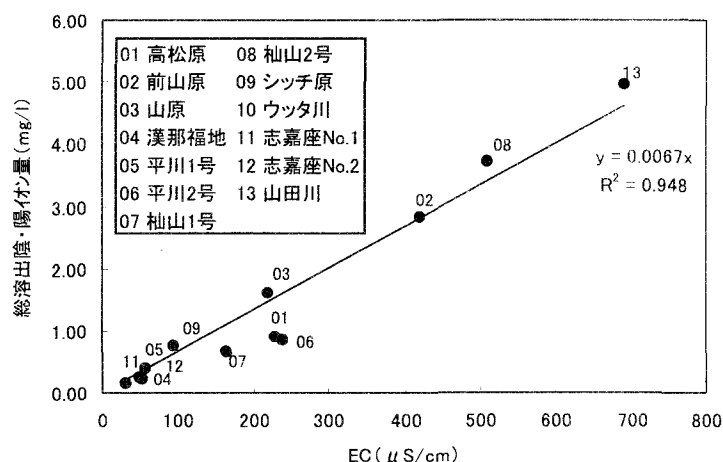


図-11 総溶出陰・陽イオン量～電気伝導度 (EC) 関係

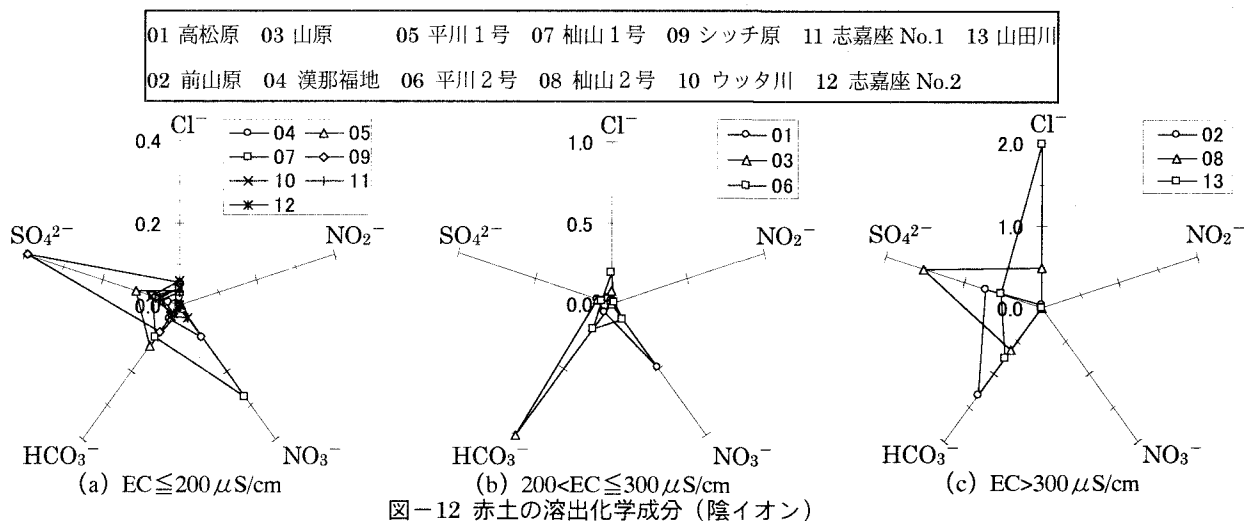


図-12 赤土の溶出化学成分 (陰イオン)

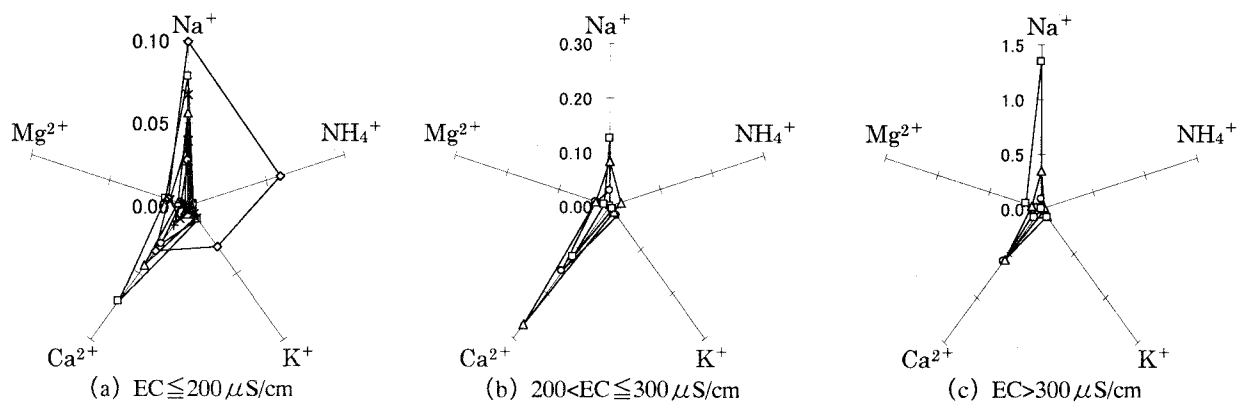


図-13 赤土の溶出化学成分 (陽イオン)

ある。この図より EC 値と総溶出陰・陽イオン量には比較的良好な正の相関関係が存在していることが分かる。このことから、EC は化学成分溶出量の指標とみなすことができる。図-12 と 13 は、主要イオンの溶出化学成分量を陰・陽イオンに分けて表している。溶出化学成分量は、乾燥質量 1g 当りの土からの溶出可能な化学成分量 (mg) を表わしている。陰イオンにおける溶出化学成分の特性としては、ほとんどの赤土で重炭酸イオン (HCO_3^-) の溶出量が顕著であり、また一部で硫酸イオン (SO_4^{2-}) の溶出も確認できる。これらについては土の化学的風化の進行により供給されたものであるといえる。その他に 01 高松原、07 杣山 2 号、03 山田川の各沈砂池では、塩化物イオン (Cl^-) や硝酸イオン (NO_3^-) の溶出が顕著な赤土も確認される。塩化物イオンは、中部地域が東シナ海および太平洋に面しているため、土中や表層に海塩飛沫粒子が混入したものが測定の際に溶出したと考えられる。また硝酸イオンについては、赤土流出地域の植物、土壌中の有機物、微生物・動物の遺骸や排泄物などから生成されるタンパク質が酸化作用を受け、硝酸イオンに変容したものが溶出したと推測される。また陽イオンについてはカルシウムイオン (Ca^{2+})、ナトリウムイオン (Na^+) の溶出が顕著であり、一部でタンパク質の酸化により生じたと考えられるアンモニウムイオン (NH_4^+) の溶出も見られる。カルシウムイオンは重炭酸イオンと同様に土の化学的風化の進行により生じたものであるといえる。ナトリウムイオンについては塩化物イオンと同様に海塩飛沫粒子の土中への混入が主起源であると考えられる。これらのイオン溶出起源である酸化物組成については蛍光 X 線回折装置により分析評価を試みた。その結果を図-14 に示す。左図は各沈砂池の赤土についての酸化物組成を示している。右図については左図でその他に含まれている溶出性の高い主要酸化物である酸化カリウム (K_2O)、酸化カルシウム (CaO)、酸化ナトリウム (Na_2O)、酸化マグネシウム (MgO) の酸化物について表示している。左図よりほぼ 9 割が難溶解性の酸化物であるケイ酸 (SiO_2)、酸化アルミ (Al_2O_3)、酸化鉄 (Fe_2O_3) で構成されていることが分かる。これは赤土の化学的風化が進行していること

を示している。一方、右図の溶出性が高い各酸化物の含有量は非常に低いことが分かる。これら酸化物のイオン溶出性の傾向として図-15 には、赤土の含有元素量に対する溶出化学成分量の割合を示している。乾燥質量 1g 当りに含まれる含有元素量および溶出化学成分量を基に算出している。この図は、赤土含有元素の溶出特性として $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$ という傾向があることを示している。Na は 0.01~0.5, Ca は 0.001~0.3 の範囲にあり、主要溶出成分の中では溶出性が高いことが分かる。しかしながら、Mg, K については 0.0001~0.002 の範囲にあることから、溶出が確認されたのは含有成分のごく一部である。溶出に関しては、気候や水環境などの条件が異なると溶出量が変化する場合や難溶性であるケイ酸、酸化アルミニウム、酸化マグネシウムなども溶出する可能性がある。今後は赤土採取地域の状況についても調査を実施し、各地域の特性を踏まえて溶出性を考える必要がある。

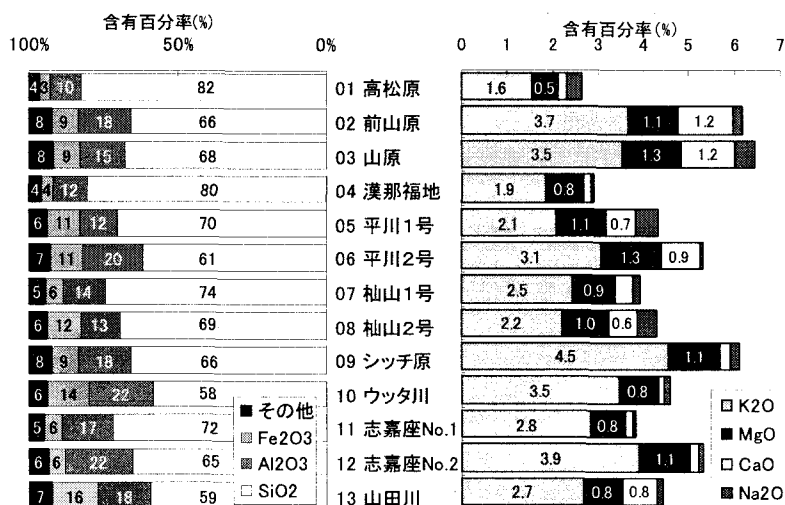


図-14 酸化物含有量 (%)

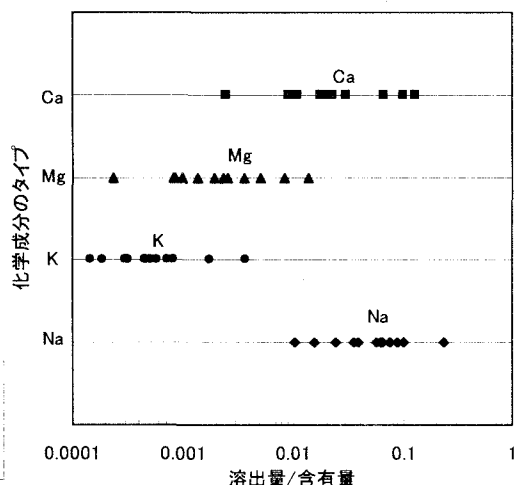


図-15 赤土の主要含有成分の溶出量

5 海浜砂汚染分析

海浜砂の赤土汚染状況を調査するため、図-2 に示す 26 地点で海浜砂の採取を行った。その採取した海浜砂を基に元素分析評価を行い、沖縄県中部地域の赤土汚染状況について考察を試みた。ここでは蛍光X線回折試験から得られた海浜砂の含有酸化物成分の結果を使用する赤土汚染度の評価方法を提案し

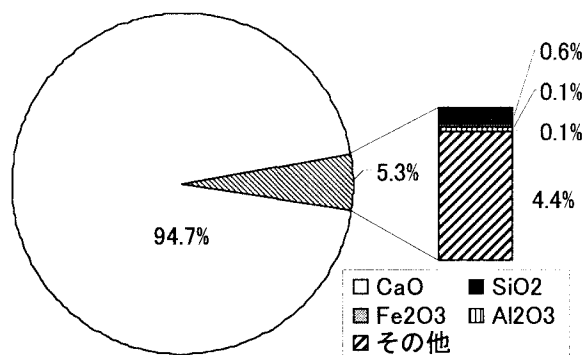


図-16 サング礫および貝殻の含有酸化物成分率

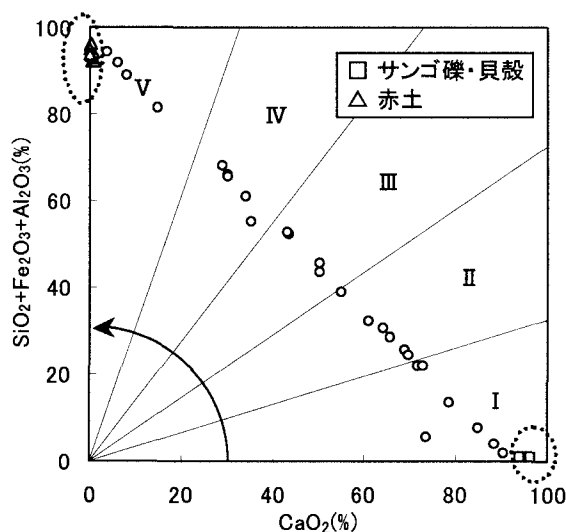


図-17 海浜砂の汚染評価図

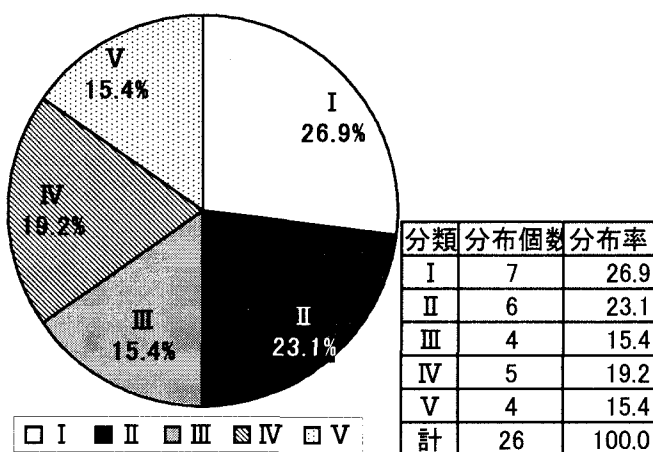


図-18 海浜砂の汚染段階区分状況

ている。赤土の含有酸化物成分は図-14 に示されるようにケイ酸 (SiO_2)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化鉄 (Fe_2O_3) が全体質量比の 90%以上を占めている。また海浜砂は、沖縄がサンゴ礁で囲まれた島であることからサンゴの遺骸であるサンゴ礫、貝殻そして有孔虫の遺骸などが主体であると考えられる。そのため、今回、調査地域において赤土汚染の影響を受けていない海浜砂はサンゴ礫・貝殻で構成されていると仮定した。その仮定に基づいてサンゴ礫および貝殻について蛍光 X 線回折試験を行った結果を図-16 に示す。図から酸化カルシウム (CaO) としては全体質量比の約 95%を占めていることが分かる。赤土の主要含有酸化物であるケイ酸、酸化アルミニウム、酸化鉄は微量であり、その合計量も 1%に満たない。また赤土における CaO の含有量も 1%前後であり微量である。この結果から海浜砂が赤土により汚染されると SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 が増加すると考えられる。よって海浜砂から得られた含有酸化物成分の結果 (CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3) を $\text{CaO} \sim (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ の関係図上に表示した (図-17)。この図を海浜砂の赤土汚染評価図とした。図より赤土、サンゴ砂礫・貝殻のプロットは、各軸付近に位置する。また各海浜砂については、赤土含有成分が増加するにつれて左肩上がりには上昇していることが分かる。この図では赤土の汚染状況の度合いを見るために、 $\theta = \pi/10$ ごとに分け、汚染状況を 5 段階のレベルに区分して表示した。この区分では汚染の度合いが高くなるにつれ θ が増加し、汚染レベルを示す数 (I ~ V) も大きくなる。これを踏まえて図を見ると、各汚染段階に調査海浜砂が分布している。また赤土の酸化物組成に非常に近い海浜砂も数個存在している。調査した 26 地点の各汚染レベルにおける分布状況を図-18 に示す。図より海浜砂汚染レベルⅢ以上のものが半数を占め、赤土の汚染はかなり進んでいるものと思われる。また図-17 で使用した段階区分を基に調査海浜地域の赤土汚染状況を地図上で表示した (図-19)。東シナ海側の海浜砂は汚染度レベルⅢの 1 箇所を除いてⅠまたはⅡであり、赤土汚染の影響は小さい。太平洋側では、逆に汚染度レベルⅠとⅡが数箇所認められる以外はⅢ~Ⅴで占められており、赤土汚染の影響が大きい。これは太平洋側地域に赤土の流出地域とされる裸地化地域が多く存在していることが主要因であると考えられる。今後の海浜砂調査においては、流出地域の特定や流出ルートの詳細についても検討を行う必要があると思われる。

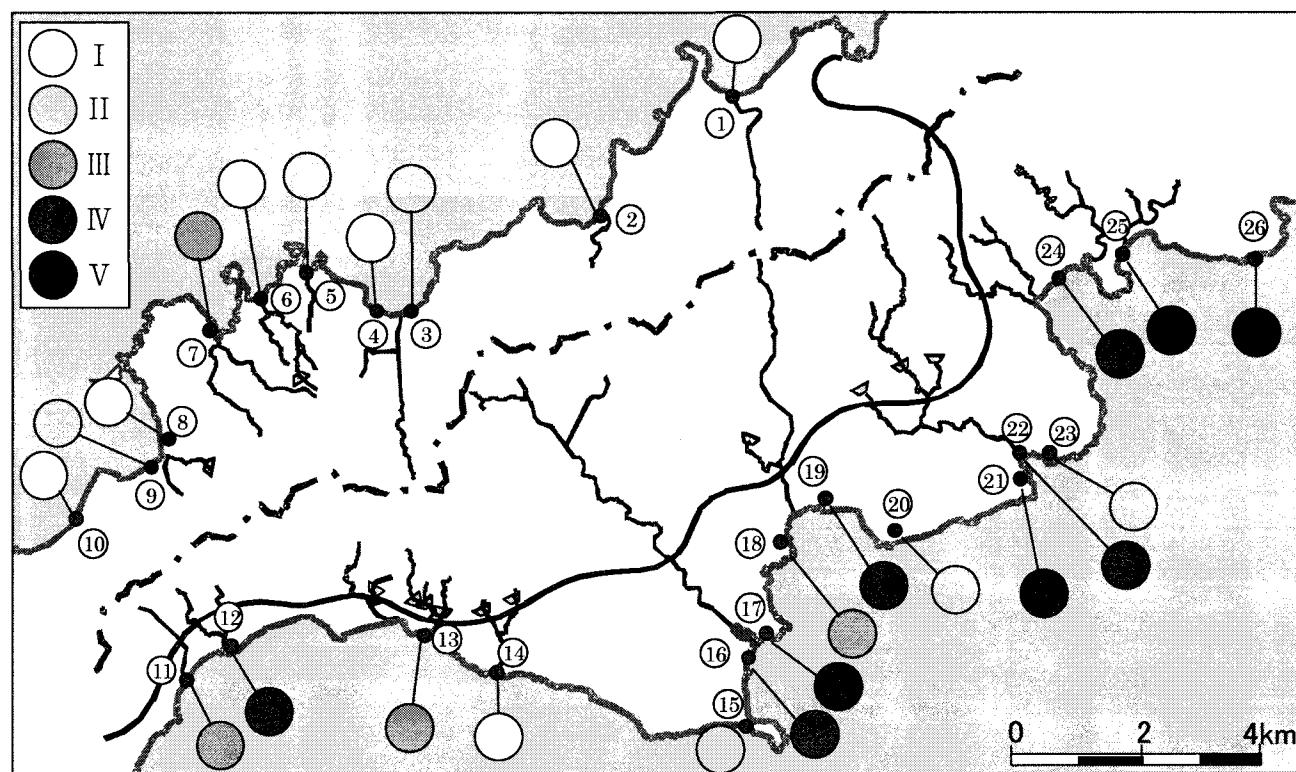


図-19 沖縄県中部地域の海浜砂汚染状況

6 まとめ

本研究における赤土の濁水評価測定装置の実験では、SS 濃度が 100~900mg/l の間の値において選定輝度（輝度値 40~174 の輝度数和）による推定が可能であることが示された。今後の課題としては、SS 濃度の高と低濃度における輝度の取り得る範囲について実験および検討を行う必要がある。また現地の沈砂池で採取した濁水による測定を行い、本測定で使用した調整濁水の結果との整合性についての考察を試みる必要がある。さらに濁水評価測定装置は野外での運用となるため、実用化に向けた耐暑性・耐水性などの周辺環境での耐久性が求められる。このため測定装置については今後現地における耐久性能試験を実施する予定である。

赤土の化学的特性として水素イオン濃度（pH）は弱アルカリ性~強酸性を呈し、各地域の赤土土壤に差異が生じていた。この差異は電気伝導度（EC）に顕著に現れていた。水溶性成分試験では HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} などの溶出がみられ、赤土は化学的風化が進行しているといえる。また蛍光 X 線回折試験により赤土は化学的風化の度合いが高く、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 の酸化物主体の土であることが確認された。今後としては、本研究で行った本島中部地域以外の地域についても調査・実験を行い、各地域の環境における赤土の化学的特性に関して考察を試みる事が望まれる。

海浜汚染状況については、仮定に基づく 5 段階の汚染段階区分表示を行った。その結果より東シナ海側は汚染度が低く、太平洋側は高いことが明らかとなった。これは開発農地や米軍演習場などが太平洋側に多いことが原因であると考えられる。この海浜砂汚染状況調査は更に他の地域の海浜砂についても行い、沖縄県の島々の海浜汚染状況を把握すると共に赤土流出地域の推定について化学的視点から考察するのに役立てたいと考えている。

沖縄県の多くの島々では赤土土壤の堆積が確認される。そのため赤土流出問題は本島のみの問題ではなく沖縄県全体の問題といえる。自然環境の破壊、特に海域汚染による海環境の破壊は深刻な問題である。亜熱帯性気候特有の環境を持つ沖縄県の自然環境をこれ以上荒廃させないためにも早急な対策が必要である。

参考文献

- 1) 伊原浩生, 山口晴幸, 増永和宏 (2001. 3): デジタル画像を利用した濁度測定法の検討, 第 29 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 884-885, 2001
- 2) 伊原浩生, 山口晴幸, 増永和宏 (2001. 5): デジタル画像を利用した濁度自動測定法の検討, 第 4 回環境地盤工学シンポジウム講演概要集, pp. 95-100, 2001
- 3) 伊原浩生, 山口晴幸, 増永和宏 (2001. 6): デジタル画像を利用した濁度・SS 濃度測定法の検討, 第 36 回地盤工学会講演概要集 pp. 2559-2560, 2001
- 4) 伊原浩生, 山口晴幸, 増永和宏 (2001. 10): 沖縄県の赤土懸濁水の濁度と化学的性質について, 第 56 回土木学会全国大会講演概要集, pp. 664-665, 2001
- 5) 沖縄県農業試験場: 沖縄県土壌分布図, 沖縄県農業試験場, 1988
- 6) 原田道明: 沖縄の赤土流出問題と米軍施設における流出防止対策, 防衛大学校研修成果報告, pp. 1-83, 1996
- 7) 伊原浩生: 沖縄県米軍施設における赤土の化学的特性と濁水濃度測定法に関する研究, 防衛大学校修士論文, 2002