

鳥取砂丘沿岸の砂浜堆積物にみられる粒度組成の東西変化

川内勇人*・小玉芳敬**

Alongshore Grain Size Distribution Changes on the Coast of Tottori Sand Dunes

KAWAUCHI Hayato*, KODAMA Yoshinori**

キーワード：粒度組成，海浜堆積物，鳥取砂丘

Key Words : grain size distribution, beach deposits, Tottori Sand Dunes

I. はじめに

鳥取砂丘の面する砂浜においては，海岸侵食が進行しているとの報道が盛んである。たとえば2009年4月23日の日本海新聞には，鳥取砂丘で開催予定であった国内唯一のサンドボードの全国大会「鳥取大砂丘全日本サンドボード選手権大会」が，海岸侵食のため延期されることが報道されている。5年おきに撮影された空中写真から鳥取県の砂浜海岸の汀線変化を調べた景山(1999)によると，白兔海岸区域(白兔海岸から賀露港)では1978年頃に海岸侵食が急速に進行したことが，鳥取海岸(千代川河口から岩戸)では1993年頃に海岸侵食が急速に進行したことが指摘されている(小玉，2004，p.6-9)。

鳥取県では総合的な土砂管理ガイドライン(鳥取県，2005)に基づいて，2005年以来，鳥取砂丘沿岸でサンドリサイクル事業を継続して実施しており，モニタリングの実施要項も発表されている(鳥取県，2006)。藤井・小玉(2009)は，鳥取砂丘沿岸に発達する沿岸砂州が，2000年以降規模を拡大させたことを明らかにし，1968年から1998年まで続いた沿岸砂州の縮小傾向(小玉，2002；小玉，2005)とは異なる段階にあることを述べた。藤井・小玉(2009)は，沿岸砂州の規模拡大は1998年と2004年に千代川で4回おきた大規模な出水に原因があると指摘した。

本稿では，サンドリサイクル事業がはじまる直前の鳥取砂丘の海岸堆積物(2004年12月～2005年2月)と2009年5月の海岸堆積物の粒度組成を調査した結果を速報する。鳥取砂丘沿岸の砂浜堆積物の粒度組成に関して徹底的に調べられたデータはこれまでに公表されていない。本稿で提示されるデータがモニタリングの一助となれば幸いである。

II. 調査対象地域および調査方法

本研究の調査対象地域は，図1に示す千代川河口右岸側から鳥取市福部町岩戸まで続く一連の砂浜海岸である。2004年12月～2005年2月の冬季にかけて，田代圭祐氏(当時，鳥取大学大学院教育学

* 鳥取大学 大学院 地域学研究科

** 鳥取大学 地域学部 地域環境学科

研究科1年)が、鳥取砂丘沿岸の砂浜で、静穏時と暴浪時の海岸堆積物の変化を調べる目的で調査した際の貴重な試料が研究室に保存されていた。それらは約200m間隔で波打ち際の堆積物が採取されたものであった。田代氏による現地調査は3回実施され、2004年12月15日は同月7日以降続いた穏やかな天候のときで、最大風速7~8m/secの冬季としては比較的静穏な時期の砂浜調査であった。2005年1月11日は、最大風速15m/sec前後の強風が数日間吹いた暴浪時の砂浜調査であった。2005年2月8日は、暴浪時から静穏期へと回復する時期をねらった砂浜調査であった。2月1日頃には最大風速20m/sec超の強風が吹き、2月6日で最大風速11m/secへ減じ、2月7日と8日には5m/secへと天候が次第に回復した。これらの貴重な試料から2分割を繰り返して、その一部を粒度分析に使用した。

2009年5月10日には、最大風速8m/sec以下の日が10日以上にわたり続いた穏やかな時期に砂浜を調査した。ガーミン社製のハンディーGPS(eTrex Vista)を用いて、千代川河口右岸側から岩戸までの砂浜で、原則として200m間隔で試料を採取した。この時、波打ち際にはバーム地形が形成されており、バームクレストで試料を採取するように心がけた。多くの箇所は波をかぶり湿った状態であった。採取した試料を実験室に持ち帰り自然乾燥させた後、分割を繰り返し、一部を粒度分析用の試料とした。

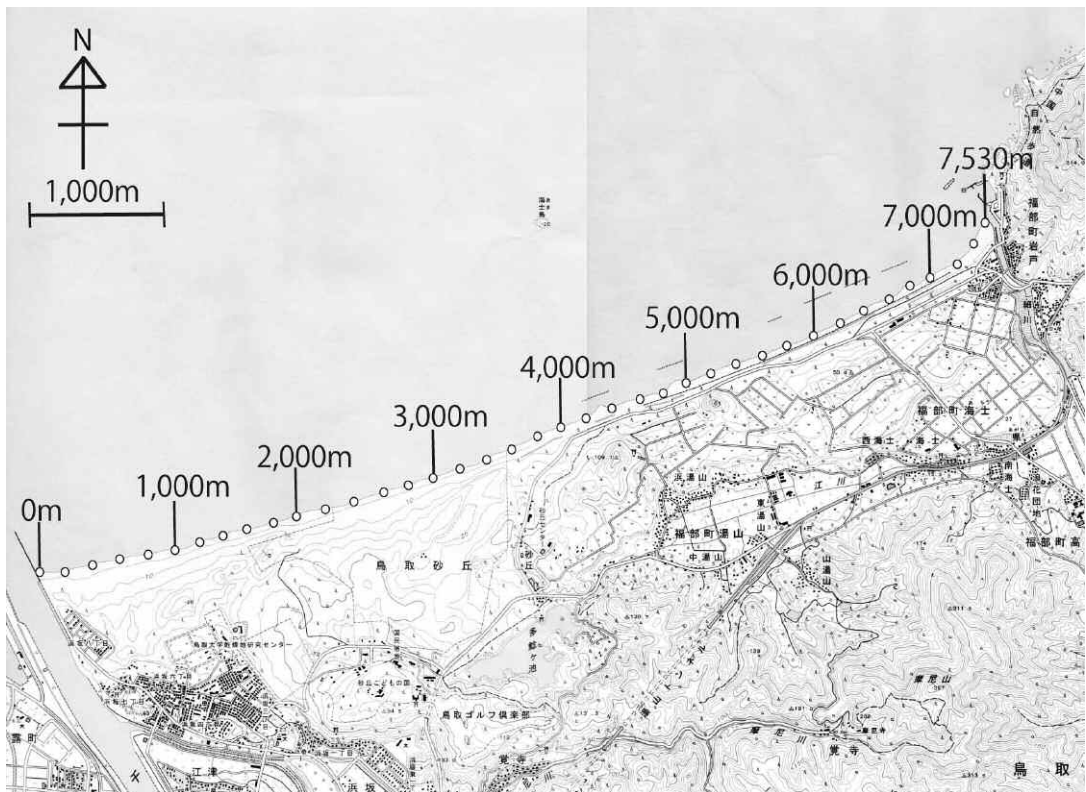


図1 砂浜堆積物試料の採取地点
国土地理院発行2万5千分の1地形図「鳥取北部」「浦富」図幅の一部に加筆した。

粒度分析には、鳥根大学総合理工学部地球資源環境学科の酒井哲弥研究室の沈降管粒度分析装置を使用させていただいた。フリーソフトSTube（成瀬，2005）で制御される分析装置である。沈降速度の解析にはGibbs *et al.*（1971）を用い、1試料あたり4分の沈降時間で分析を実施した。

Ⅲ. 鳥取砂丘沿岸砂浜堆積物の粒度組成の東西変化

1. 分析試料の代表例と粒度分析の結果

分析した試料の例をデジタルマイクロスコープ（Dino-Lite PLUS）により撮影し、図2に示した。1,000m地点～7,000m地点にかけて、砂粒の大きさが順次小さくなっている様子を確認できる。また石英や長石の粒子の他に、岩片も混じっていることがわかる。

粒度分析の結果を表1と表2にまとめた。粒径に使用したφスケールとは、粒径 d （mm） $=2^{-\phi}$ で示されるものである。φ $=-1$ は $d=2$ mm、φ $=0$ 、1、2は、それぞれ $d=1$ mm、0.5mm、0.25mmに相当する。

2. モードと中央粒径

本稿では、ヒストグラムの最大値を示すモードと、積算重量で50%に相当する中央粒径について報告する。これらの東西変化を図3に示した。縦軸のφスケール数値を反転させることで、粗い粒径が上方に、細かい粒径が下方となるように調整した。

まずモードから全体的な傾向を見ると、2つの系列にわかれることが読み取れる。すなわち2φ（0.25mm）を中心としたモードと、-1φ（2mm）～0φ（1mm）を中心としたモードである。前者は千代川河口からの距離で0m～800mと4,000m以降に、後者は1,000m～4,000mの区間で確認できる。地点によっては試料採取日に応じて多少離れた値を示すデータも認められるが、全体傾向としては試料採取時期によらず2つのモードにわかれることが示されている。2,000m付近の2004年12月15日のデータや、5,200m付近の2009年5月10日のデータなどは、その周囲のデータを比べると異常値を示すものの、大局的には2つのモード系列上にある点が興味深い。

このことから鳥取砂丘沿岸堆積物には、双峰性の粒径分布を示す材料が存在していると考えられる。

それらがバームに堆積する際、4,000m付近で堆積粒径のモードに急変を招く何らかの仕組みがある

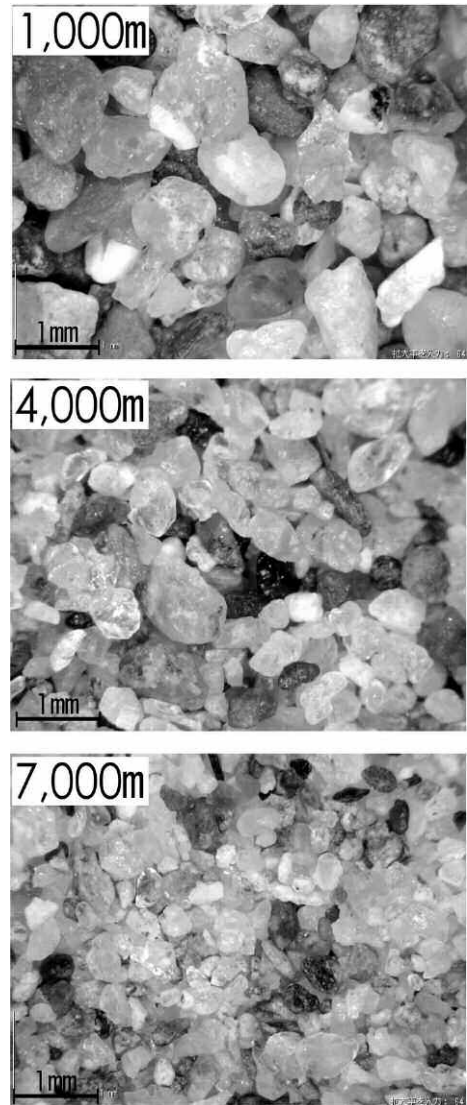


図2 分析した砂粒の顕微鏡写真例
写真左上の距離数は、採取地点を示す。

ことを示唆する。この点は今後に残された重要な課題である。

表1 2004年～2005年冬季の砂浜堆積物の粒度分析結果

試料採取日:2004年12月15日								
採取地点	平均粒径	淘汰度	歪度	尖度	モード	25%粒径	中央粒径	75%粒径
sampling site	Mean	Sorting	Skewness	Kurtosis	Mode	ϕ_{25}	Median	ϕ_{75}
m	ϕ				ϕ	ϕ	ϕ	ϕ
200	-0.566	0.663	2.051	8.990	-0.854	-0.931	-0.765	-0.554
400	1.621	0.737	-2.678	12.908	1.501	1.474	1.768	1.940
600	0.843	1.277	-0.573	2.099	-0.594	-0.517	1.312	1.896
800	1.232	0.634	-1.536	8.866	1.046	0.816	1.106	1.414
1000	-0.541	0.779	1.799	7.276	-1.020	-1.035	-0.716	-0.418
1200	-0.128	0.851	1.358	4.370	-0.573	-0.743	-0.420	0.106
1400	-0.080	0.840	1.365	4.752	-0.499	-0.671	-0.332	0.074
1600	-0.394	0.702	1.988	7.949	-1.080	-0.882	-0.591	-0.273
1800	0.027	1.042	1.095	3.523	1.896	-0.717	-0.364	0.295
2000	1.132	0.847	-0.562	2.365	1.826	0.517	1.225	1.817
2200	0.083	0.914	1.087	3.150	-0.879	-0.627	-0.262	0.355
2400	-0.421	0.830	1.615	6.170	-0.866	-0.956	-0.691	-0.343
2670	0.497	0.877	0.612	2.552	-0.390	-0.256	0.181	1.089
2970	0.550	0.935	0.401	2.069	-0.693	-0.297	0.353	1.220
試料採取日:2005年1月11日								
200	1.595	0.976	-2.162	7.645	1.997	1.433	1.902	2.076
400	1.172	1.192	-1.330	4.106	1.907	0.536	1.625	1.957
600	0.856	1.357	-1.089	3.038	-2.100	0.161	1.266	1.834
800	0.989	1.143	-0.301	1.419	-0.587	-0.293	1.408	1.956
1000	-0.040	0.930	0.947	3.683	-0.569	-0.705	-0.344	0.301
1200	0.084	0.740	1.226	4.779	-0.205	-0.463	-0.105	0.346
1400	-0.198	0.795	1.522	4.716	-0.880	-0.782	-0.467	-0.086
1600	-0.105	0.795	0.301	4.719	-0.458	-0.564	-0.207	0.207
1800	0.319	0.959	0.675	2.373	-0.350	-0.452	0.015	0.796
2000	0.351	0.913	0.388	3.491	-0.030	-0.272	0.129	0.714
2200	-0.327	0.705	1.913	6.918	-0.510	-0.827	-0.532	-0.209
2400	0.779	1.027	0.212	1.477	-0.494	-0.238	0.473	1.910
2600	-0.090	0.777	1.995	7.091	-0.677	-0.600	-0.349	-0.030
2800	0.672	0.926	0.316	1.891	-0.687	-0.156	0.453	1.424
3000	0.045	0.862	1.304	4.032	-0.383	-0.582	-0.267	0.225

表1 つづき

採取地点 m	平均粒径 ϕ	淘汰度	歪度	尖度	モード ϕ	25%粒径 ϕ	中央粒径 ϕ	75%粒径 ϕ
3200	0.563	1.029	0.521	1.770	-0.484	-0.356	0.132	1.736
3400	0.635	0.846	0.845	2.668	-0.193	-0.153	0.294	1.112
3600	0.752	0.856	0.378	2.124	-0.192	-0.008	0.522	1.365
3800	1.083	0.858	-0.142	1.840	1.998	0.232	0.998	1.953
4000	0.666	0.712	0.856	3.107	0.267	0.215	0.324	0.944
4200	1.447	0.901	-1.839	7.103	1.906	0.974	1.772	1.998
4400	1.389	0.959	-1.451	4.932	1.893	0.882	1.753	1.997
4600	2.147	0.591	-5.779	40.989	2.182	2.039	2.165	2.280
4800	1.749	0.504	-1.359	5.738	1.887	1.376	1.836	2.006
5000	2.222	0.261	-1.658	8.991	2.224	2.069	2.203	2.323
5200	1.976	0.416	-2.127	10.599	1.912	1.873	1.941	2.107

試料採取日：2005年2月8日

400	-0.451	0.818	1.991	6.389	-0.984	-0.984	-0.759	-0.383
600	-0.127	0.839	1.268	4.469	-0.621	-0.710	-0.403	0.069
1000	0.156	0.873	1.068	3.376	-0.782	-0.514	-0.168	0.476
1200	0.033	1.031	0.853	2.542	-1.091	-0.801	-0.366	0.504
1400	-0.047	0.789	1.275	4.156	-0.582	-0.632	-0.297	0.194
1600	-0.129	0.809	1.298	4.361	-0.987	-0.740	-0.368	0.120
1800	-0.051	0.855	1.376	4.293	-0.595	-0.672	-0.333	0.153
2000	0.161	1.172	0.211	2.378	-2.100	-0.643	-0.147	0.958
2200	0.408	0.892	0.643	2.445	-0.684	-0.322	0.145	0.896
2400	1.317	0.867	-0.847	2.725	1.844	0.723	1.550	1.933
2600	0.203	0.906	0.732	3.163	-0.350	-0.470	-0.075	0.572
2800	0.434	0.964	0.422	2.102	-0.192	-0.399	0.210	1.093
3000	-0.010	0.835	0.754	3.773	-1.197	-0.597	-0.182	0.316
3200	0.291	1.133	1.302	3.625	2.999	-0.523	-0.144	0.491
3400	0.976	1.044	-0.226	1.465	1.727	-0.186	1.253	1.822
3600	1.077	1.041	-0.606	2.408	1.807	0.059	1.614	1.844
3800	0.982	0.888	-0.316	2.274	-0.295	0.185	1.009	1.727
4000	0.385	0.908	0.692	2.498	-0.681	-0.380	0.099	0.909
4200	1.632	0.889	-2.212	8.564	1.991	1.416	1.893	2.074
4400	1.850	0.543	-1.418	6.127	1.924	1.540	1.920	2.119
4600	1.267	0.838	-1.265	5.725	0.402	0.547	1.431	1.825

表2 2009年5月の砂浜堆積物の粒度分析結果

試料採取日:2009年5月10日

採取地点 sampling site m	平均粒径 Mean ϕ	淘汰度 Sorting	歪度 Skewness	尖度 Kurtosis	モード Mode ϕ	25%粒径 ϕ_{25} ϕ	中央粒径 Median ϕ	75%粒径 ϕ_{75} ϕ
0	1.452	0.874	-1.810	6.481	1.841	1.106	1.754	1.935
200	1.664	0.829	-1.449	4.529	2.029	1.339	1.935	2.117
400	0.518	0.910	0.317	2.051	0.003	-0.262	0.316	1.196
600	1.358	1.031	-1.170	2.493	1.818	0.934	1.595	1.880
800	0.554	1.121	0.022	1.881	-0.297	-0.314	0.146	1.705
1000	-0.249	0.817	0.670	4.974	-0.449	-0.695	-0.339	0.003
1200	0.403	0.760	0.619	3.450	-0.008	-0.167	0.221	0.765
1400	-0.400	0.585	2.000	8.647	-0.976	-0.841	-0.567	-0.249
1600	0.534	0.888	0.385	2.130	-0.396	-0.272	0.357	1.114
1800	0.475	0.971	0.114	2.986	-0.197	-0.196	0.123	1.241
2000	0.034	0.964	0.182	3.594	-0.578	-0.513	-0.122	0.357
2200	-0.259	0.685	1.731	6.613	-0.614	-0.732	-0.457	-0.315
2400	0.261	0.776	0.530	4.326	-0.094	-0.271	0.095	0.550
2600	0.730	0.791	0.320	2.254	-0.091	0.035	0.559	1.237
2800	0.075	0.814	0.580	4.419	-0.226	-0.439	-0.098	0.338
3000	0.142	0.981	0.863	2.358	-0.690	-0.666	-0.317	0.821
3200	0.533	0.865	0.488	2.435	-0.487	-0.200	0.291	1.005
3400	0.350	0.796	0.948	3.103	-0.586	-0.306	0.114	0.637
3600	1.525	0.731	-0.934	2.960	1.939	0.972	1.798	2.010
3800	1.079	0.886	-0.756	3.922	0.205	0.301	1.094	1.768
4000	1.419	1.212	-1.901	5.665	1.964	1.190	1.865	2.065
4200	1.668	0.771	-1.561	4.715	1.926	1.362	1.868	2.005
4400	1.491	0.963	-1.738	5.953	2.019	1.032	1.876	2.066
4600	1.872	0.471	-2.407	10.277	1.821	1.784	1.874	2.025
4800	1.970	0.566	-2.970	14.337	2.117	1.891	2.070	2.202
5000	1.774	0.875	-2.741	11.034	2.083	1.773	2.003	2.161
5200	1.030	0.964	-0.353	1.617	-0.293	0.308	1.024	1.752
5400	1.067	1.349	-1.340	4.285	1.054	0.892	1.071	1.282
5600	2.404	0.457	-1.911	5.924	2.007	1.988	2.038	2.146
5800	2.099	0.366	-2.353	10.957	2.128	1.972	2.112	2.237
6000	1.742	0.852	-3.413	14.926	1.893	1.718	1.876	2.028
6200	1.718	0.697	-2.031	6.954	1.903	1.688	1.893	2.001
6400	1.872	0.738	-4.244	22.482	1.980	1.790	1.940	2.090
6600	2.119	0.504	-2.917	11.893	2.190	1.970	2.139	2.236

表2 つづき

6800	2.110	0.533	-3.443	16.486	2.203	2.043	2.179	2.294
7000	1.887	0.897	-3.682	16.098	1.970	1.903	2.010	2.130
7200	2.268	0.242	-2.065	12.881	2.253	2.126	2.242	2.347
7400	2.015	0.827	-4.032	21.161	2.038	2.000	2.095	2.220
7530	2.249	0.360	-7.187	76.777	2.235	2.218	2.233	2.334

次に中央粒径の東西変化をみると、同様に800m付近と4,000m付近に不連続が認められる。東西変化に注目すると、0m～800m区間と4,000m以降の区間で中央粒径の東方への細粒化傾向が一連のものとして理解できる。つまり、500m前後で 1.5ϕ (0.35mm)を示すものが、7,000m前後では 2ϕ (0.25mm)に細へと細粒化傾向を示す。また800m～4,000m区間でも東方細粒化が読み取れる。つまり -0.5ϕ (1.41mm)から 0.3ϕ (0.81mm)へと中央粒径が東方へ著しく細粒化している。

これらのことは、千代川の河口から流出した砂が沿岸流により東方に運搬されていく過程で、波浪にともなう砂粒の破碎・摩耗作用をうけ次第

に細粒化するプロセス、あるいは細粒岩屑の選択的な運搬プロセスを反映したものと考えられる。中央粒径の不連続が生じるメカニズムに関しては、今後に残された課題であるが、その際には砂浜堆積物の粒径分布ヒストグラムばかりか、浅海底の地形に応じた堆積物の粒径分布ヒストグラムもあわせて検討することが求められる。つまり、砂浜から浅海底を含めた平面的な堆積物の分級状態を把握した上で、砕波にともなう浅海底—砂浜の地形や堆積物の変化をダイナミックにみる眼が必要である。

最後に2005年から続けられているサンドリサイクル事業に関しては、千代川河口部で浚渫した堆積物を河口から東方へ3,000m～4,000m付近の沖合に投入してきた。少なくとも砂浜堆積物の粒径変化からは、サンドリサイクルの影響は読み取れない。なぜなら、サンドリサイクル事業が始まる直前の冬(2004年～2005年)に採取した堆積物のモードや中央粒径と、2009年5月の結果とに大差がないからである。今後も長期にわたる継続的なモニタリング調査が必要であろう。

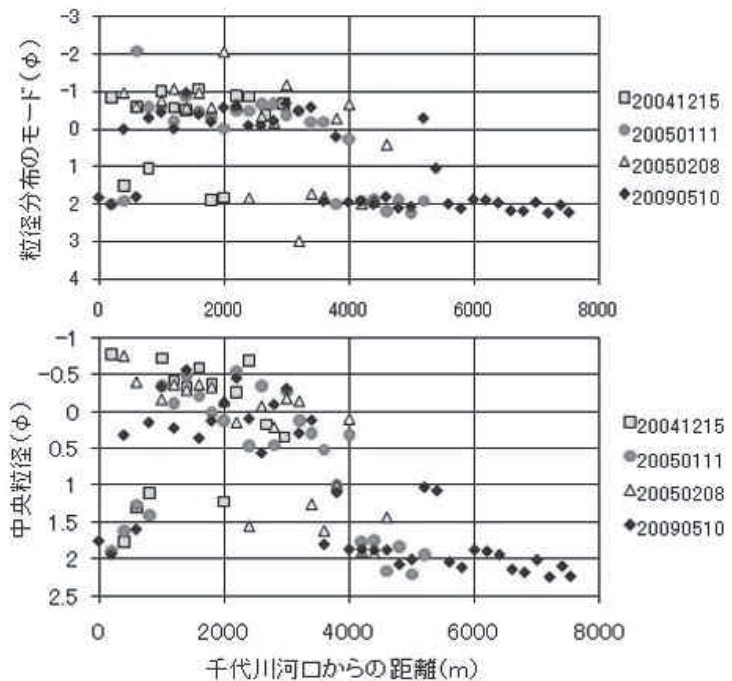


図3 鳥取砂丘の面する砂浜における粒度の東西変化
上：モード，下：中央粒径，の変化を示す。

IV. おわりに

鳥取砂丘が面する砂浜（千代川河口右岸側から岩戸まで）において、砂浜堆積物の粒度組成の東西変化を、沈降管粒度分析装置を用いて調べた。サンドリサイクル事業開始直前（2004年～2005年の冬季）とサンドリサイクル事業が4年間継続実施された後の2009年5月に採取された試料を分析した。その結果、砂浜堆積物のモードと中央粒径が大きく2つの系列にわかれることが明らかになり、さらに系列間では粒度に急変が生じることが、はじめて報告された。この位置は、千代川河口から東方へ800m前後と4,000m前後の地点である。砂浜堆積物の粒度に急変をもたらすメカニズムは今後に残された課題である。また粗粒な岩屑ほどより顕著であるが、両系列とも東方に細粒化する傾向を示し、沿岸流による砂粒の東方への移動を示唆する。サンドリサイクル事業前後における砂浜堆積物の粒径変化は、本データからは認めることができない。今後も継続したモニタリング調査が求められる。

謝辞

鳥根大学総合理工学部地球資源環境学科の酒井哲弥先生には、沈降管粒度分析装置を使用させていただいた。鳥取大学大学院地域学研究所1年の梅原舞乃さんには、現地調査に際してご協力をいただいた。トマト銀行の田代圭祐さんには、2004年から2005年にかけて採取した貴重な試料を提供いただいた。本研究は、平成21年～23年科研費基盤研究C（研究課題番号：21500998、代表：小玉芳敬）、平成21年度山陰海岸ジオパーク学術研究奨励事業補助金（代表：田淵直人）、鳥取砂丘景観保全調査研究会調査研究費の助成を受けたものである。記して、感謝申し上げます。

文献

- 藤井まゆら・小玉芳敬（2009）鳥取県郷土視覚定点資料（県博の空中写真）は語る その5 —鳥取砂丘沖の浅海底に発達する沿岸砂州の変遷—。鳥取地学会誌，No.13，65-70。
- Gibbs, R.J., Matthews, M.D. and Links, D.A. (1971) The relationship between sphere size and settling velocity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 41, 7-18.
- 景山龍也（1999）鳥取県の砂浜海岸における海岸線の経年変化。鳥取大学教育学部平成10年度卒業論文，52pp。
- 小玉芳敬（2002）鳥取県郷土視覚定点資料（県博の空中写真）は語る その3 —沿岸砂州の規模縮小と鳥取砂丘の草原化—。鳥取地学会誌，No.6，35-42。
- 小玉芳敬（2004）「鳥取の地形まるごと研究」。鳥取大学教育地域科学部，68pp。
- 小玉芳敬（2005）「砂丘開発」p.135-137, In: 森川洋・篠原重則・奥野隆史編，2005, 『日本の地誌9 中国・四国』，朝倉書店，639pp。
- 成瀬元（2005）沈降管天秤法粒度分析用アプリケーション“STube”の特色と利用法。堆積学研究，No.62，55-61。
- 鳥取県（2005）「みんなで守り・創り・育てる海辺 鳥取沿岸の総合的な土砂管理ガイドライン」。鳥取県県土整備部河川課
- 鳥取県（2006）「みんなで守り・創り・育てる海辺 鳥取沿岸の総合土砂管理ガイドラインに基づく人為的な土砂移動等の実施状況のモニタリング 実施要領」。
<http://www.pref.tottori.lg.jp/secure/222632/jissiyouryou.pdf> (2010.01.11閲覧)

(2010年1月21日受付，2010年1月29日受理)