

第5章 15～20年周期で生じる千代川の大規模出水により太る沿岸砂州とさらに10年遅れて太る鳥取砂丘海岸の砂浜の実態

小玉 芳敬

Abstract

Chapter 5. 15-20year cyclicality in scale of offshore bars due to the large-scale flooding of the Sendai River and c.a. 10year time lag in appearance of shoreline changes at the coast of Tottori Sand Dunes. By Yoshinori KODAMA:

Analyses of air photos and satellite images taken from 1961 to 2014 and subaquatic longitudinal profile survey along the coast revealed that volume of offshore bars fluctuated between $1.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ and $4.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ at 15-20year interval on the coast of Tottori Sand Dunes. These cyclicities were found to have a good correlation with the large-scale flooding of the Sendai River. On the other hand, shore sedimentation or erosion phenomenon appeared about 10 years later than the change of the offshore bars. Sediments from the Sendai River is supplied to the seafloor about 300 m or more offshore from the coastline. This is because the depth of the Sendai River is 4-5 m. In other words, sediment from the Sendai river is directly supplied to the most offshore bar. Sediment transport systems from outer bars to inner bars remains an issue.

1. はじめに

鳥取砂丘の砂の主な供給源は、千代川の運搬土砂である。鳥取砂丘海岸の浅海底に形成された沿岸砂州の規模変遷より、千代川が永年にわたり土砂を運搬している様子が、捉えられてきた(藤井・小玉, 2009; 小玉ほか, 2017, p.12-15)。

河川からの流出土砂は砂浜にたどり着く前に浅海底に一時的にとどまり、波浪作用で沿岸砂州を形成する。沿岸砂州は、砂浜で生じる侵食と堆積(Beach Cycle)に関連した重要な要素の一つである(Short, 1979 など)。暴浪時に侵食された砂浜の砂は、最も

岸よりの沿岸砂州(inner bar)に留まり、平穏時には陸に向かって移動し、最終的には砂浜に乗り上げて、バーム(berm)となる。

沿岸砂州の形成に関する波浪条件は、砂村(1985)などで明らかにされているものの、河川からの排出土砂の影響を吟味した沿岸砂州に関する研究は、極めて少ない。また沿岸砂州の規模変遷と、砂丘海岸の汀線変化についても十分な検討がなされていない。そこで小玉(2018)が速報した内容を、ここで改めて述べる。本内容は宮脇(2018)の修士論文の一部である。



図1. 調査対象地域および鳥取砂丘海岸浅海底における調査測線の位置。鳥取県立博物館所蔵2008年航空写真をもとに編集した。調査測線 line5～line6 間には、沈水人工リーフが設置されている。

2. 調査地域の概観

鳥取県東・中部の沿岸部には沿岸砂州がよく発達している。本研究の調査対象地域は、千代川河口東端から東へ福部町岩戸まで続く約 8 km の鳥取砂丘海岸と、旧河口（鳥取港）西端から西方に約 6 km 続く白兔海岸である（図 1）。

図 2 に鳥取砂丘海岸と白兔海岸の海浜堆積物（バームクレスト部）の中央粒径分布を示す。1955 年当時の千代川河口は現在より 800 m 西側（現在の鳥取港）にあった。鳥取砂丘海岸では、1955 年に河口から東へ 2 km 付近で中央粒径 0.5 mm 程と最も粗くなり、そこから東へ細粒化する眉型分布が認められた。その後、2004 年から 2009 年では河口から 1~3 km 区間で 1 mm 程と明らかに粗かったが、2011 年には再び 1955 年当時の粒径分布に近づき、2018 年現在もこの傾向が維持されている。

なお白兔海岸でも黒色岩片の混じりが少ない砂試料（◆）に着目すると、鳥取砂丘海岸と類似した眉型分布が認められた。しかし、なぜこのような眉型分布を示すか、その形成プロセスは明らかになっていない。河川から流出した土砂がどのような流れで砂浜にたどり着くのかを知る必要がある。

沿岸砂州を浅海底における砂移動プロセスの一部として理解することは、砂浜の動態、ひいては海岸砂丘の動態を把握する上で大変重要である。本研究では、鳥取砂丘海岸の地形特性を明らかにするため、千代川から流出した砂が浅海底の沿岸砂州を経由して、その一部がどのようにして砂浜にたどり着くのか、これら流砂システムの実態

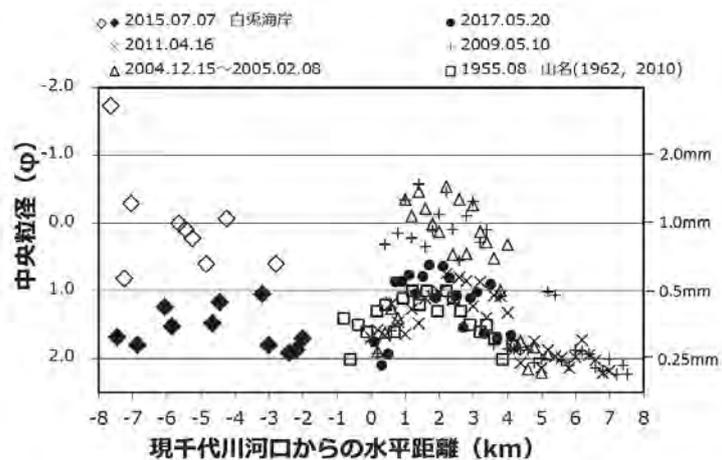


図 2. 鳥取砂丘海岸と白兔海岸における海浜堆積物の中央粒径分布. 山名 (1962, 2010), 小玉 (2013), 浅田ほか (2016) のデータより作成した。

の一端を明らかにすることを目的とした。

3. 調査方法

1961~2014 年に撮影された鳥取砂丘海岸の空中写真（付表 1）から沿岸砂州の平面形態・規模の変遷を明らかにした。また 2015 年~2017 年にかけて、鳥取砂丘海岸浅海底の沿岸砂州と千代川河口部の測深調査を実施した。船外機付きゴムボートから HONDEX 社製のポータブル超音波測深機 PS-7FL を

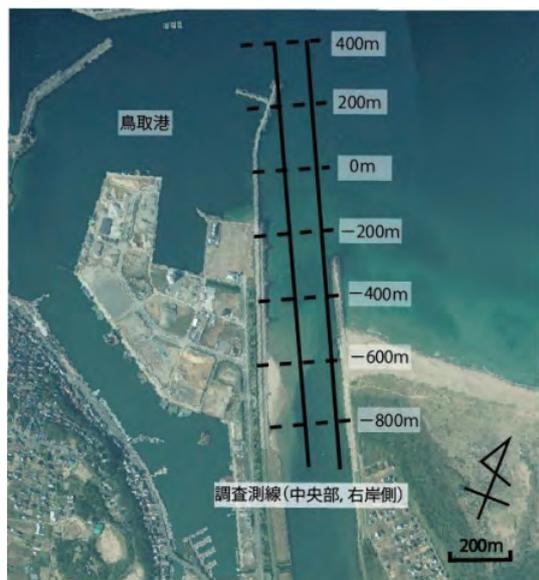


図 3. 千代川河口部の縦断測定の測線位置. 鳥取県立博物館所蔵 2008 年航空写真に加筆した。

用いて水深計測を行い、図1・図3に示した各測線(浅海底では6測線, 河口部では2測線)において深浅測量を実施した。同時にドレッジ式サンプラー(自作)で底質の採取も適宜行った。

深浅測量により描いた沿岸砂州の縦断面より沿岸砂州を構成する砂の体積を沿岸砂州の列ごとに推算した。これらを空中写真判読より描いた2014年の沿岸砂州の面積と照らし合わせ、両者の関係式を求めた。そして沿岸砂州の平面形(面積)の変遷に前述の関係式を適用することで、沿岸砂州の体積の経年変化を解析した。この結果を千代川の出水、千代川河口部の地形変化や鳥取砂丘海岸の汀線の前進後退と比較検討した。

4. 結果および考察

1) 沿岸砂州の規模変遷

鳥取砂丘海岸における沿岸砂州の規模変遷を図4および付図1に示す。沖側の沿岸砂州(offshore bar)から順にbar1, bar2, bar3と呼称する。1978年は全域で2段認められ、1989年は沖合600mにbar1が形成され、東側で3段となっていた。1998年には沿岸砂州の規模が縮小し、西側で1段、東側で2段となった。2003年には沿岸砂州の規模が一気に拡大し、再びbar1が沖合600mに形成され、全域に3段の沿岸砂州が認められた。2008年にはbar1の太さが130m~250mと最も拡大した。その後2014年はbar1の太さが100mとやや細ったが、全域で3段の沿岸砂州を維持してい

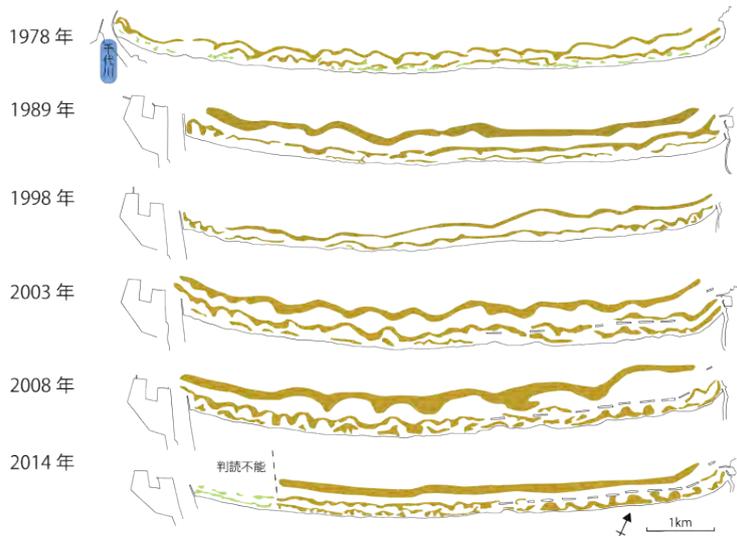


図4. 鳥取砂丘海岸における沿岸砂州の規模変遷. 6か年分を抜粋した。1978年, 1998年, 2003年, 2008年は鳥取県立博物館所蔵, 1989年は国土地理院, 2014年はGoogle Earthの衛星写真より作成した。

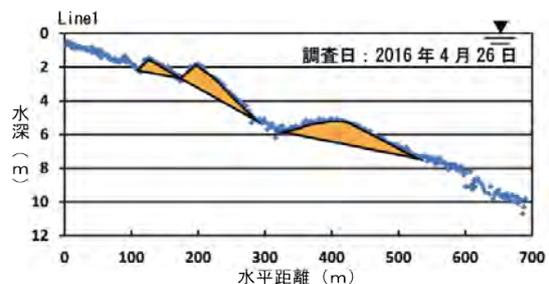


図5. line1における浅海底の縦断面形。

た。

浅海底縦断面形の一例を図5に示す。line1~line6における,それぞれの沿岸砂州の断面積を, 沿岸砂州の傾斜の変換点と変換点(沿岸砂州のトラフ部)を結んだ直線より上部の面積と定義した(図5, 付図2)。段ごとに求めた断面積と断面間の距離より, 沿岸砂州の体積を段ごとに算出した。そして2014年の空中写真より判読した3段の沿岸砂州の面積とそれぞれ対応させ, 他年次の沿岸砂州の体積を推算した(図6上)。

沿岸砂州は1960年代280万 m^3 前後で規模を維持し, 1968年から1972年に約80万 m^3 増加した。1972年から1981年にかけては増減を繰り返しながら約200万 m^3 減少し

た。しかし1982年には約200万 m^3 増加し、1972年と同規模に戻った。1989年まで規模を維持し、再び1993年にかけて約130万 m^3 減少した。2008年にかけては200万 m^3 以上の大幅な増加がみられ、その後はゆっくりと減少傾向を示し、2014年は300万 m^3 となった。このように鳥取砂丘海岸の浅海底に発達する沿岸砂州は、約17~19年周期で体積150万~400万 m^3 で消長を繰り返していることが、本研究で初めて明らかになった。

2) 沿岸砂州の規模変遷と千代川の大規模出水との関係

千代川からの出水に伴う土砂流出は、沿岸砂州の規模変遷に重要な役割を果たしていると考えられる。そこで沿岸砂州の体積変化と、千代川行徳観測所における日最大流量(1986年~2015年まで)、およびそれ以前の出水データ(鳥取河川国道事務所HP)との比較検討をした。1998年(3,560 m^3/sec)と2004年の2回(3,204 m^3/sec , 2,561 m^3/sec)の大規模出水後に、1998年~2008年にかけて、沿岸砂州の体積が200万 m^3 以上増加した。1976年(3,260 m^3/sec)と1979年(4,270 m^3/sec)の大規模出水後は、2年程遅れて沿岸砂州の体積が増加した。これは、千代川河口部の付け替え整備(1973年~1983年にかけての工事)後で

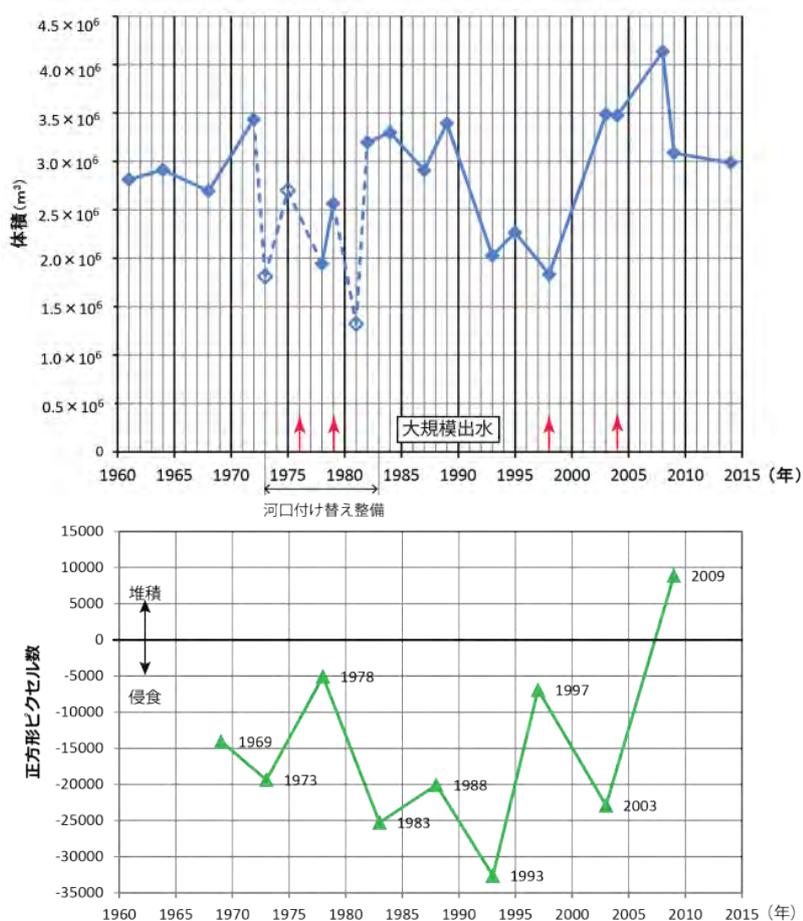


図6. 鳥取砂丘海岸における沿岸砂州の規模と汀線の関係。
上：沿岸砂州の推算体積の経年変化。
下：1947年の汀線と比較した汀線の前進・後退。
鳥取県(2005)の汀線変化図を解析し作成した。

あったため、人工掘削した捷水路を埋めるのにまず土砂が使われ、浅海底への供給が遅れたためと考えられる。

3) 鳥取砂丘海岸の汀線変化

鳥取砂丘海岸における汀線変化を鳥取県(2005)のデータより解析して図6下に示した。鳥取砂丘海岸の汀線は、およそ10年~20年周期で堆積・侵食を繰り返している。沿岸砂州の体積変化と汀線変化の関係をみると、沿岸砂州の体積が増加した後、約5年~10年遅れて汀線の前進が生じている傾向が認められた。つまり、砂浜は千代川からの土砂流出イベントから、およそ10年遅れて

反応することが本研究で初めて明らかになった。タイムラグが生じるメカニズムは、今後に残された課題である。

4) 砂浜と浅海底の粒径分布

次に鳥取砂丘海岸における汀線変化(図6)と海浜堆積物の粒径(図2)の関係を検討する。海浜堆積物の粒径は2004年, 2009年には粗くなっていた。汀線変化では2009年に堆積傾向がみられたが, 鳥取砂丘「馬の背」前面の砂浜では, 2010年冬の暴浪時には, 砂丘の基部まで波が押し寄せていた(元自然公園美化財団鳥取事務所長 音田研二郎氏私信)。同じ場所で1年後の2011年冬の暴浪時には, 波は砂浜の途中で止まっており, 砂丘の基部にまで達していなかった(小玉ほか, 2017)。つまり, 2011年には砂浜の堆積が確実に進行した。同時に, 浜の堆積物も細粒化して, 1955年当時の粒径分布(山名1962, 2010)に近づいたことが明らかになった。自然の妙である。

鳥取砂丘海岸の海浜堆積物と浅海底堆積物の中央粒径の分布を図7に示した。横軸上のプロットは, 海浜堆積物を示す。2~3 km周辺で0.5 mmと粗い。浅海底の多くの地点は0.25 mm以細であった。沖側で粗い地点が所々に認められたが, 沿岸砂州の地形部位との対応関係は様々であった。

line1~4では汀線から200 m以内で中央粒径0.4 mm程の粗い砂が分布し, 砂浜の粗さと対応した。これは週単位で変化するinner barが, beach cycleを通して海浜堆積物と密接に関わることの反映と理解される。

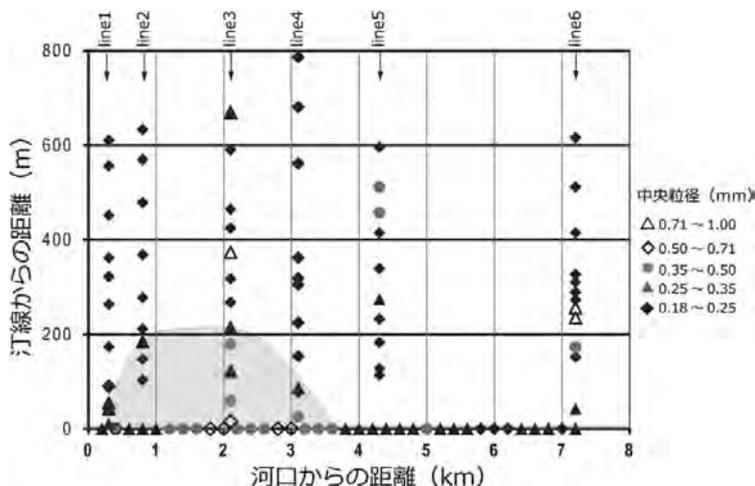


図7. 浅海底における底質の粒径分布平面図。試料は, 2015年5月30日~2016年5月19日にかけて採取した。

5) 300m 以上沖合で海底面に現れる千代川からの掃流砂礫

千代川から流出した粗粒な砂礫は, 河口部沖合のどの辺りで鳥取砂丘海岸の浅海底へ供給されるのかを考えるため, 千代川河道滞筋の縦断形の経年変化と, 河口に最も近いline1の浅海底縦断形を重ね図8に示した。千代川右岸突堤先端付近で, 千代川滞筋の延長部と浅海底の縦断形とが交差し, bar1に相当する位置に砂の高まりが形成されていた。この交差部(汀線から300 mほど沖合)より海側で, 千代川からの掃流砂礫が浅海底面へと供給されることがわかる。つまり, 一番沖側の沿岸砂州(outer bar, bar1)に直接砂が供給されるというわけである。このように千代川の河道が4~5 mの深さであるために, 川からの掃流砂礫は汀線に沿ってすぐに沿岸方向に運ばれるわけではない実態を認識した。

砂浜の粒径分布が眉型を示すヒントも, ここにあるかもしれない。河川から搬出された粗い粒子は, 汀線から300 m以上沖合で, 浅海底面に供給されデルタを形成する。そこから砂浜にたどり着くまでに沿岸

方向に 2 km ほどの移動が必要となると予想できる。

また一番沖側の沿岸砂州の列に供給された砂は、1 列内陸側の沿岸砂州に移動し、さらに陸側の inner bar 群に達するのに、5~10 年ほどのタイムラグが生じる理由としては、冬季に起こる沿岸砂州の周期的な湾曲（付図）とそれに逆位相で呼応した砂浜のジャイアント・カスプにヒントがある。湾曲した沿岸砂州の砂の一部を、岸側の列の沿岸砂州に移動させる流砂系システムが存在するかもしれない。つまり多段の沿岸砂州間での砂の移動を、沿岸砂州の平面形の季節変化まで視野に入れて検討することが当面の課題である。

5. おわりに

千代川行徳観測所における日最大流量が 3,000 m³/sec を超える出水が起こると、谷沢から多量の砂が千代川河床に、さらには千代川河口部にまで運び出される。この時、河口部には水深 4 m 前後のデルタが張り出し、汀線より 300 m 以上沖合で浅海底に砂が供給される。この位置に最沖側の沿岸砂州が形成されている。

1961~2014 年の 22 年次にわたる空中写真判読より描いた沿岸砂州の規模変遷、ならびに浅海底の深浅測量より描いた海底縦断形の結果から、鳥取砂丘海岸の沿岸砂州は、約 17~19 年周期で 150 万~400 万 m³ で消長を繰り返している実態が明らかになった。さらに沿岸砂州の体積増加から約 5~10 年遅れて汀線の前進が生じる実態も明らかになった。河川から搬出された砂礫が、砂浜

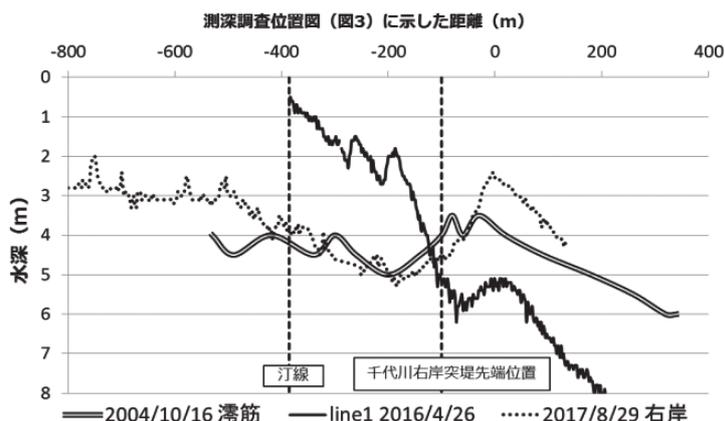


図 8. 千代川河口部の滞筋と沿岸砂州（line1）の縦断形比較。

2004 年の縦断形は、松原（2010）より作成した。

にたどり着くまでに約 5~10 年のタイムラグが生じる原因は、残された課題である。

謝辞

本稿の骨格は、宮脇隼輔さん（鳥取県）の修士論文の一部である。現地調査では小玉研究室の岩淵博之さん・竹野杏理さん・小出千晴さん、そして杉山弘晃さんにご協力いただいた。記して謝意を表する。

文献

- 浅田深志・片山裕介・窪井大地・星野賢史・村井大航・山岡愛実・山畑周平・樂前晶己
 （2016）鳥取県東部の賀露一白兔海岸における地形地質環境。鳥取大学地域学部地域環境学科 地域調査実習（地域環境）報告書，第 16 巻，41-48。
 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 一鳥取砂丘沖の浅海底に発達する沿岸砂州の変遷 一。鳥取地学会誌，13 号，65-70。
 小玉芳敬（2013）自然の力で回復しつつある鳥取砂丘海岸の実態と草原化の行方。鳥取砂丘景観保全調査報告書，42-48。
 小玉芳敬（2018）流域流砂系から自然環境を診

る. 科学, 88(8), 767-769. (岩波書店)

小玉芳敬・永松大・高田健一編 (2017) 「鳥取砂丘学」古今書院, 東京, 102pp.

松原雄平 (2010) 鳥取砂丘海岸・千代川河口域の季節変動とサンドリサイクル. 鳥取砂丘景観保全調査報告書, 35-44.

宮脇隼輔 (2018) 千代川の土砂流出特性を反映した鳥取砂丘海岸の地形環境. 鳥取大学大学院修士課程地域学研究科平成 29 年度修士論文, 35pp.

Short, A.D. (1979) Three dimensional beach-stage model. *Journal of Geology*, **87**, 553-571.

砂村継夫 (1985) 沿岸砂州の形成位置と規模. 海岸工学講演会論文集, 第 32 巻, 331-335.

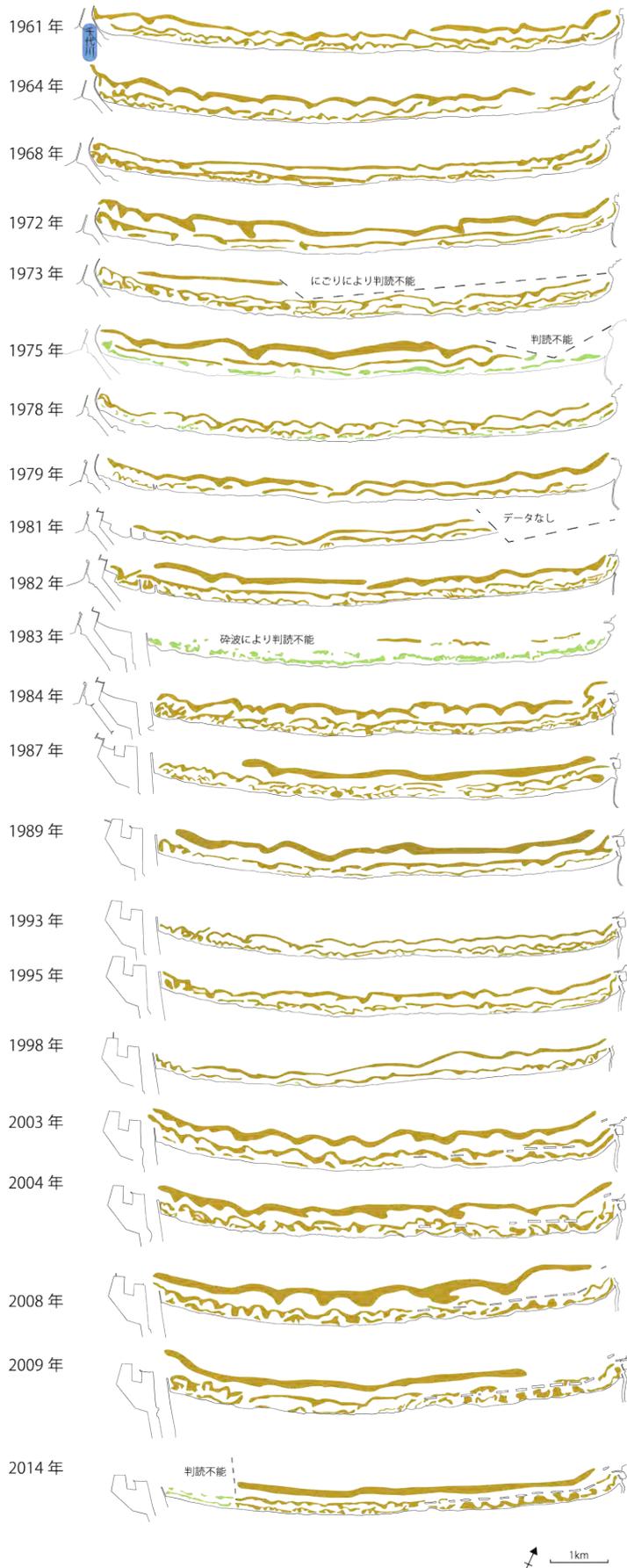
鳥取県 (2005) 千代川流砂系の土砂管理計画. 36pp.

山名巖 (1962) 鳥取砂丘砂の粒度組成について. 鳥取県立科学博物館報, no. 1, 17-22.

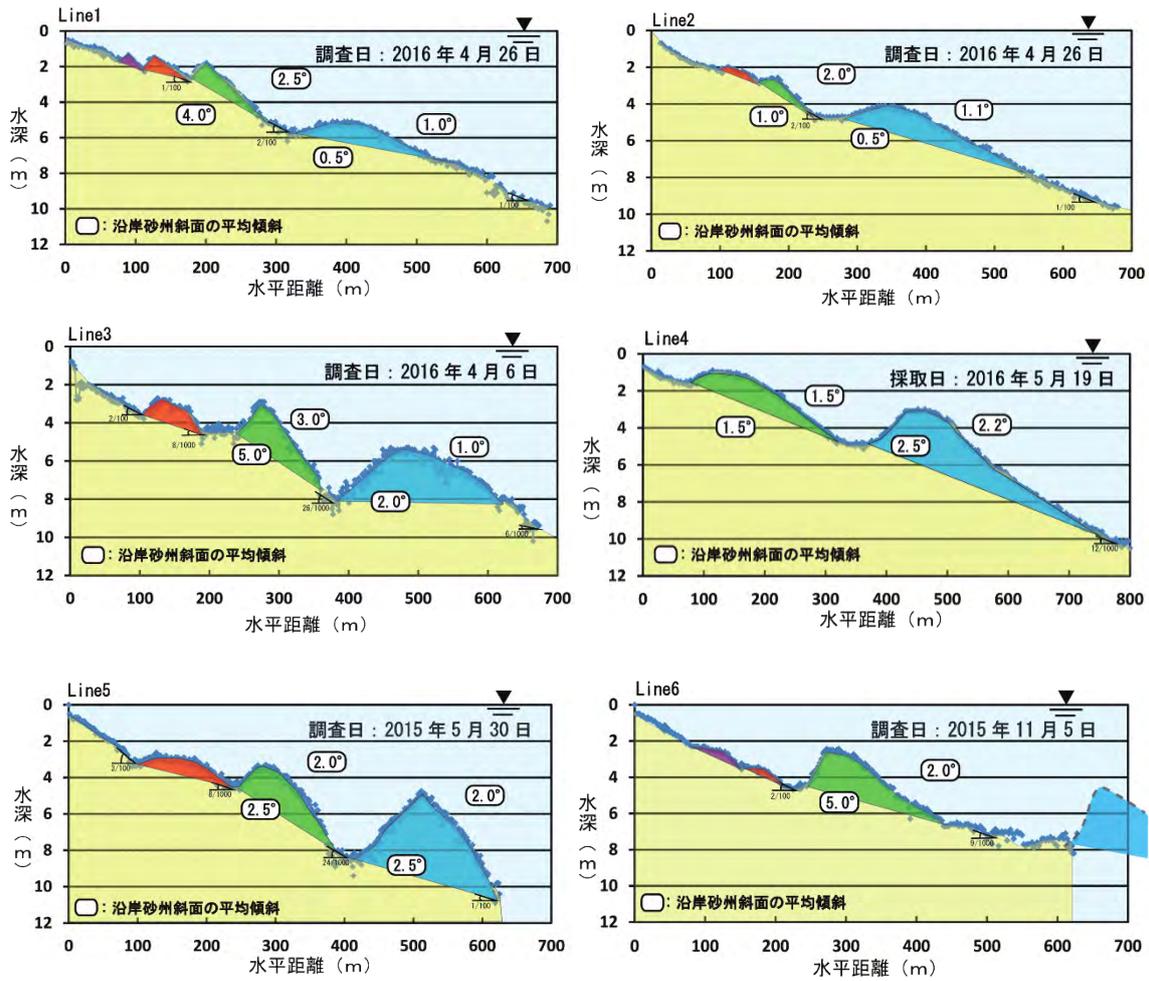
山名巖 (2010) 鳥取砂丘砂の粒度組成について再吟味. 鳥取地学会誌, 第 14 号, 11-17.

付表 1 鳥取砂丘海岸・白兔海岸における空中写真撮影日
黒字は国土地理院, 赤字は鳥取県立博物館の空中写真を, 緑字は, Google Earthの衛星写真を示す。

撮影年	鳥取砂丘海岸	白兔海岸
1961年	5月24日	2月28日
1964年	5月16日	5月16日
1968年	撮影日不明	撮影日不明
1972年	5月3日	×
1973年	10月20日	10月30日
1975年	5月7日	5月22日
1978年	10月18日	11月25日
1979年	8月9日	×
1981年	7月29日	×
1982年	5月11日	5月11日
1983年	11月29日	×
1984年	5月19日	×
1987年	4月17日	×
1988年	11月4日	10月20日
1989年	5月27日	5月27日
1990年	5月7日	5月6日
1993年	10月16日	10月16日
1995年	5月9日	5月9日
1998年	10月10日	10月11日
2003年	10月22日	10月22日
2004年	4月16日	5月24日
2005年	×	4月19日
2008年	10月16日	10月16日
2009年	8月19日	8月19日
2013年	×	9月19日
2014年	11月2日	×



付図 1 鳥取砂丘海岸における沿岸砂州の規模変遷 (1961 年～2014 年)



付図 2. 鳥取砂丘海岸の浅海底縦断測量結果から読み取る沿岸砂州の地形

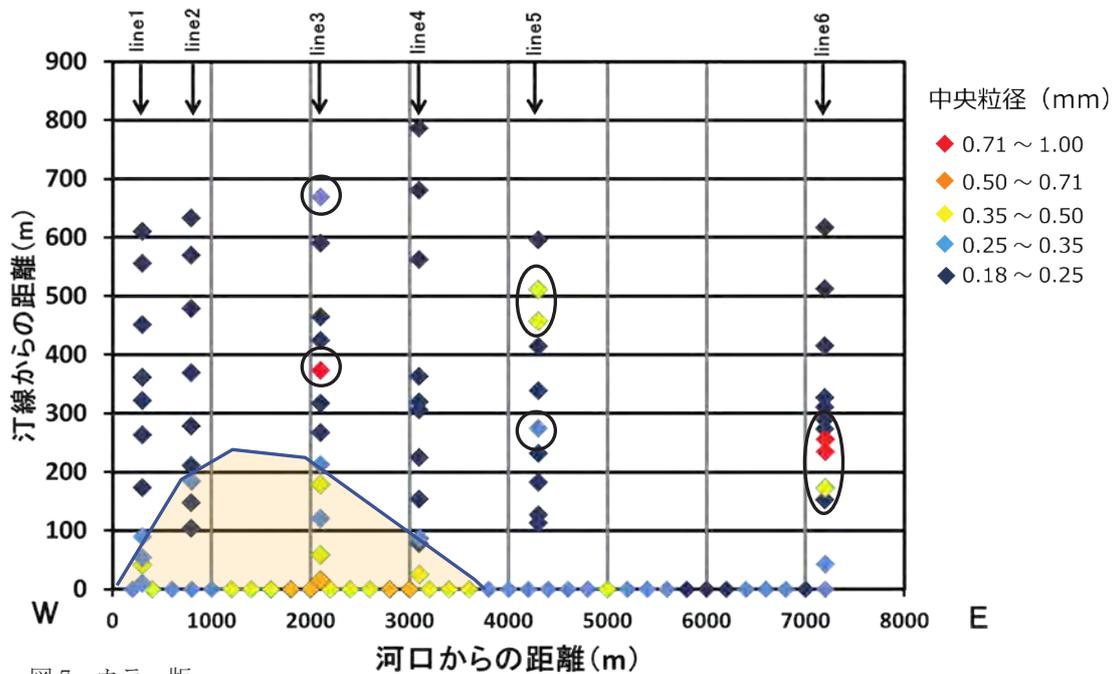
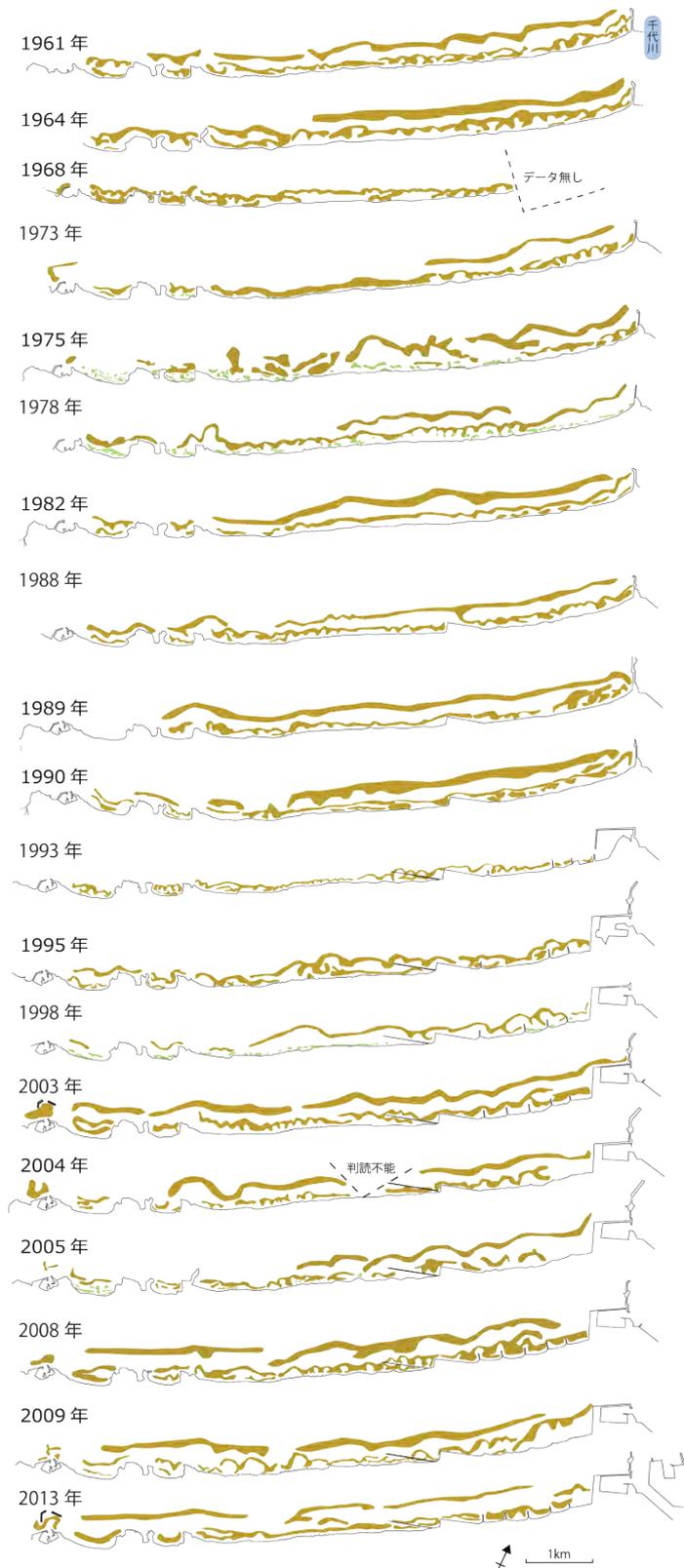


図 7 : カラー版



付図3. 白兔海岸における沿岸砂州の規模変遷（1961年～2013年）