

飯岡漁港南防波堤の延伸に伴う漂砂上手側での 砂浜形成と環境変化

FORMATION OF SANDY BEACH UP-CAST OF IIOKA FISHING PORT UPON EXTENSION OF BREAKWATER AND ENVIRONMENTAL CHANGES

宇多高明¹・酒井和也²・清野聡子³・星上幸良⁴
Takaaki UDA, Kazuya SAKAI, Satoquo SEINO and Yuki Yoshi HOSHIGAMI

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター常務理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部海洋
建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

²正会員 修(工) (財) 土木研究センター河川・海岸研究部 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

³正会員 工博 九州大学工学研究院環境都市部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区大学元岡744)

⁴正会員 博(工) 国際航業(株)社会基盤事業部河川・環境部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)

Along the Byobuga-ura Sea cliffs, located at the north end of Kujukuri Beach, sediment eroded from the sea cliffs had been transported southwestward, while supplying sand to Kujukuri Beach. Since 1964 the breakwater of Iioka fishing port had been extended, resulting in the obstruction of longshore sand transport. A large amount of sand was deposited and a sandy beach was formed east of the breakwater. In response to this beach change, the change in habitat of birds and coastal vegetations in this newly formed sand deposition zone occurred. These beach changes along with the change in habitat were investigated.

Key Words : *Iioka fishing port, breakwater, Byobuga-ura sea cliffs, aerial photograph, environment change*

1. まえがき

一方向の沿岸漂砂が卓越した海岸において防波堤など海岸線から沖向きに突出した構造物が伸ばされると、その上手側では砂が堆積し下手側では侵食が起こることは良く知られた事実である¹⁾。その場合、沿岸漂砂阻止構造物の下手側では時間経過とともに砂の絶対量が減少するため人工化が進むのに対し、上手側では砂浜が徐々に広がるが、それに合わせて動物植物にとって都合のよい空間が形成され、人為改変の結果に追従した変化が現れる。環境関連の研究では、ある場における植物動物の状態量の記載に重点が置かれ、上記のように人為的改変への応答の視点からの考察はあまりなされていない。千葉県九十九里浜の北端に位置する屏風ヶ浦では、崩落土砂が南向きの沿岸漂砂により運ばれ九十九里浜を養ってきたが、1964年以降飯岡漁港の防波堤建設に伴い沿岸漂砂が阻止され防波堤の東側では砂が堆積している。この堆積域では新たな砂浜形成と同時に、それに追従した動物植物の生息生育域の変化が見られる。このことから、本研究ではこれを事例として上記の点について考察した。

2. 空中写真による防波堤上手側における堆砂状況の比較

飯岡漁港の防波堤建設工事は1964年に開始され、2000年までに順次延長された。防波堤延伸に伴って周辺海岸では地形変化が生じたが、その状況は空中写真の比較から明らかにすることができる。まず図-1(a)には1980年の防波堤形状を示す。この時期までに既に南防波堤と西防波堤が建設されていた。南防波堤は、当初地点A（以下「地点」は省略）まで海岸線と平行に延ばされていたが、1980年にはS28°W方向に向きが変わり、AB間の160m部分が完成した。西防波堤と背後の護岸との交点をPとし、Pから防波堤先端までの突出距離をYとして読み取ると、1980年にはY=570mであった。またこの時期、防波堤隅角部のAより東側では防波堤に直接波が作用していた。

1985年ではBからS15°W方向に222m防波堤が延長されるとともに、防波堤先端部に長さ100mの防砂突堤が防波堤とほぼ直交方向に伸ばされた（図-1(b)）。この結果防波堤の突出長はY=722mとなった。この間Aの南側側面には砂が堆積し始め、三角

形状の前浜が形成された。同時に南防波堤の付け根のCでも前浜の形成が始まった。さらに西防波堤の西側隣接部でも前浜が広がり示した。

1990年では南防波堤がさらに延長されY=890mとなった(図-1(c))。これと同時に、A,Cの南側の

砂浜が大きく広がった。とくにA南側の砂浜の広がり大きく、1985年には砂浜の南端がB付近にあったが、1990年には防砂突堤の付け根まで広がった。また拡大写真によれば、Aの防波堤南側直近には沿岸漂砂の堆積ではなく、盛土が行われたことが見て

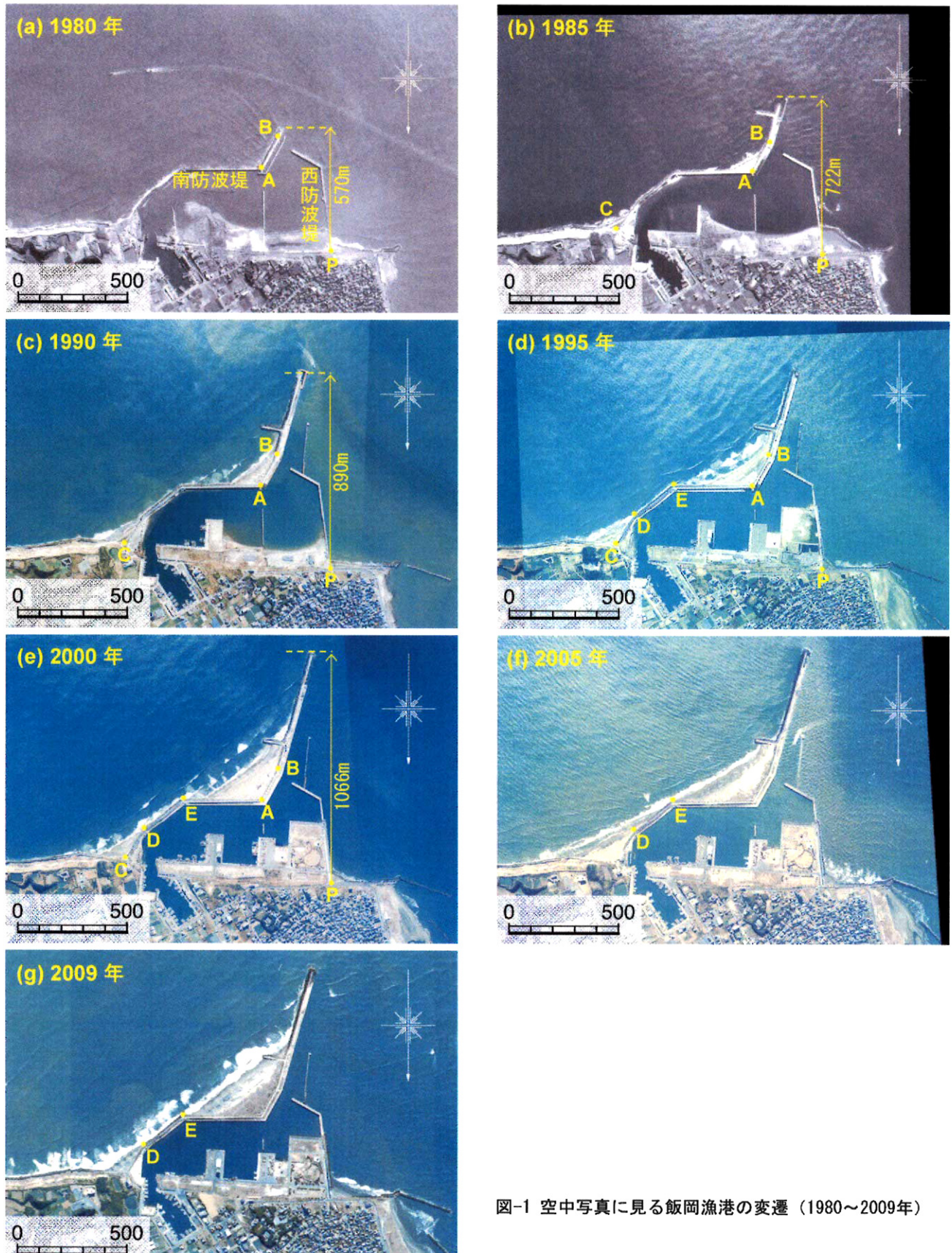


図-1 空中写真に見る飯岡漁港の変遷(1980~2009年)

とれる。これに対し南防波堤の延伸と同時に西防波堤の付け根にあった三角形の前浜はほぼ消失した。防波堤が延ばされると、ほぼSE方向からの卓越波に対してPは遮蔽域に入るので堆積傾向になってよいが、1985年から1990年では隅角部にあった砂浜は消失しており、波の遮蔽域で一般に見られる現象と逆である。これは当初防波堤長が短く、沿岸漂砂がその先端を回り込んで下手側へと流れる条件にあったため堆積が起きたが、防波堤延伸に伴って沿岸漂砂の回り込み量が減少したため逆に侵食傾向になったことによると考えられる。

1995年では1990年と比較して防波堤形状には変化がないが、1985年当時と比べ防波堤の延伸により西向きの沿岸漂砂の阻止率が向上したため、この間でもA,C南側での堆砂が続き三角形の前浜が広がった(図-1(d))。しかしP西側の前浜は狭いままである。ただし西端の離岸堤背後の舌状砂州の形成は大きく進んでいる。

2000年では、その方向をS15°Wに保ったまま防波堤が150m延長された。この結果防波堤の突出長はY=1066mとなり、沿岸漂砂の阻止率がさらに向上した(図-1(e))。このためA南側での三角形の砂浜は拡大を続け、防砂突堤全長の2/3にまで達するほどに汀線が前進した。またCの南側に形成された三角形の砂浜は、南防波堤上のD付近より南側への発達が抑制されていたが、2000年にはDE間も砂の堆積により浅くなっている。さらに西防波堤の西側直近では1995年と比較して前浜が広がったことが分かる。

2005年では2000年と防波堤の長さには変化がないが、2000年まで波に曝されていた南防波堤のDE間においてもE付近のごく一部を除いて砂浜が広がり、汀線が連続的に繋がった(図-1(f))。

2009年では、2005年には汀線が直線状に延びて砂で埋まっていたDE間が再び波に曝されるようになったと同時に、Cの南側にあった砂浜の東端を区切る地点が西向きに110m移動して浜が狭まった。これと同期して防砂突堤の南側隅角部においても砂浜が形成された。全体として見れば、汀線が反時計(左)回りに回転したような変化が起きている。2005年と2009年の平均汀線への法線を引いてその方向角を求めると、2005年ではN148°E、2009年ではN142°Eとなることから、この間波の入射方向が反時計回りに6°回転したためこのような汀線変化が起きたと考えられる。

3. 南防波堤南側における汀線変化

南防波堤の南側区域においては、南防波堤の延伸により西向きの沿岸漂砂が阻止された結果経年的に砂浜が広がってきた。そこで各年の空中写真より汀線前進状況を調べた。図-2は1985年から2009年まで6時期の汀線変化を示す。1980年には南防波堤の南側区域には砂浜は全くなかったため、前浜の形成に

かかわる砂は屏風ヶ浦から西向き沿岸漂砂によって運び込まれ、南防波堤によってそれが阻止されたため形成されたと判断できる。汀線は2005年までは互いにほぼ平行に前進してきているのでA,Cを通してこれらの汀線と直交する線を引きその方向角を求めると、A付近ではN148°E、C付近ではN150°Eとなつてほぼ一致する。汀線前進域は南防波堤の先端より十分内側にあつて沿岸漂砂の移動がほぼ阻止されているので汀線は卓越波の入射方向とほぼ直角に近くなる。これを考慮すると、飯岡付近での卓越波の入射方向はほぼN148°Eとなるが、実際には防波堤先端を下手側へと回り込む漂砂もあるので、この値はほぼ下限値を与えると考えられる。

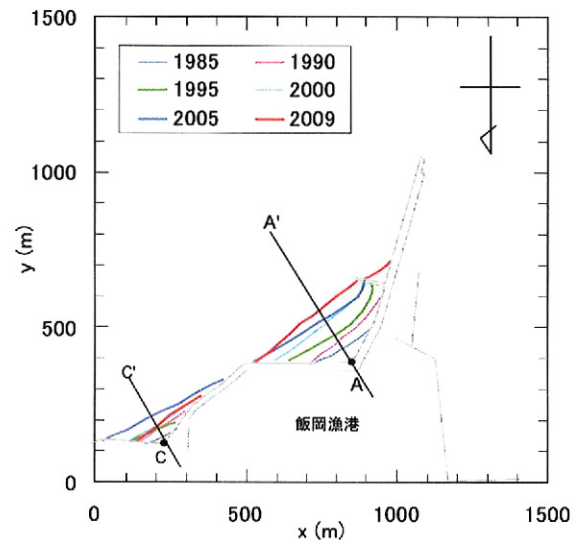


図-2 飯岡漁港南防波堤の南面における汀線変化

4. 飯岡漁港における卓越風向

飯岡漁港周辺の風特性を調べるために、図-3にはアメダス銚子による風配図を示す。2000年から2004年のデータより求めた風向の方位別出現頻度と平均風速を示す。全年で見るとNNE,NE,SSWが卓越している。またWNWにも低いピークがある。これらの風向の季節別の出現状況を調べると、春季はNNE,NEとこれらとほぼ逆方向のSSWが卓越する。夏季にはNNEの頻度が減少する一方、SSWが著しい卓越を示す。秋季にはSSWの頻度が大きく低下し、NNEとNEの頻度が高まる。さらに冬季にはNNE,NEのみでなく他の時期には見られないWNW方向の出現頻度が高まる。飯岡漁港付近の海岸線はほぼ東西に伸びているためN系の風は陸風となり、しかも北～北西方向には海食崖が延びているため漁港周辺ではその遮蔽も受け、また砂浜は高さ約50mの崖の直下にあるためN系の風の作用は無視できる。このことから南防波堤の南側に形成された砂浜において飛砂を引き起こす風はSSWからの風となる。またSSW方向からの風は3～8月に卓越している。SSW風はNNE方向(N22.5°E)の飛砂をもたらし、それも夏季に活発なことが分かる。

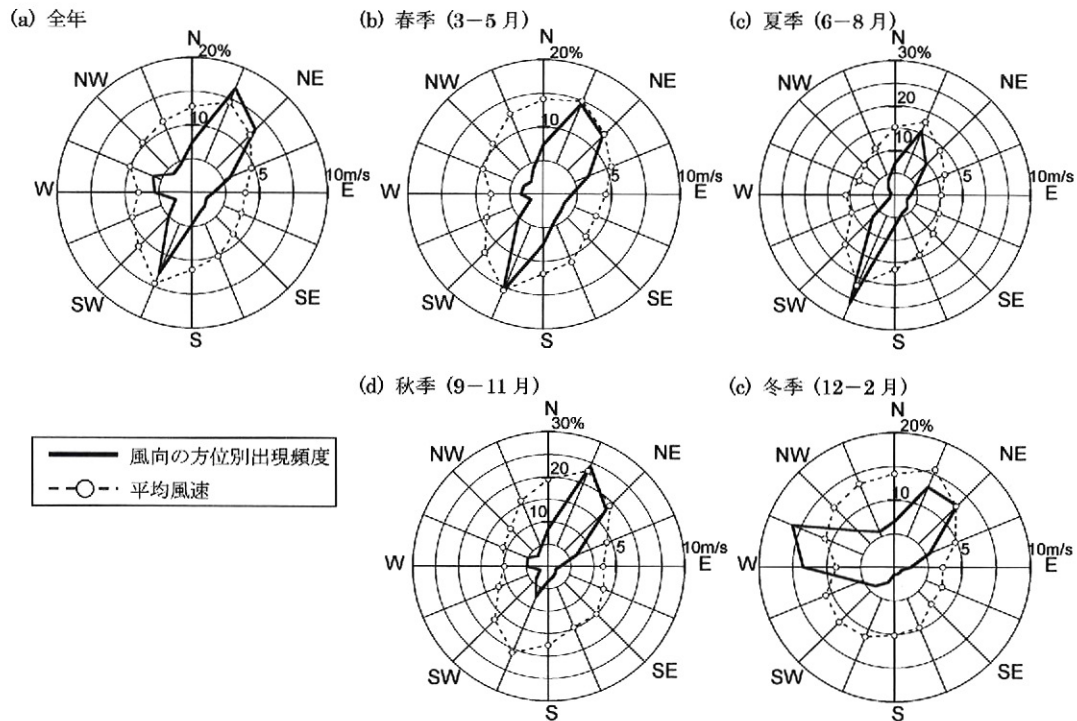


図-3 アメダス銚子による風配図

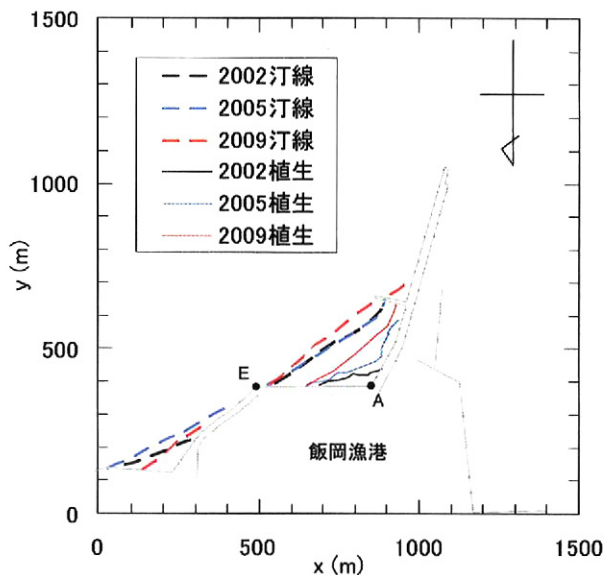


図-4 防波堤隅角部に形成された砂浜の汀線と植生帯の変遷

5. 新たに形成された砂浜における環境変化の現地踏査

(1) 植生帯の形成

南防波堤の南側区域では、防波堤により西向き沿岸漂砂が阻止された結果前浜が広がると同時に後浜では植生帯が形成され、その面積が次第に広がった。2002、2005、2009年における汀線と植生帯の変遷を図-4に示す。2002年にはEの西198mから防波堤に沿うように細長く植生帯が伸びていた、この時期の植

生帯はAから南向きに測った距離が42mと狭かった。2005年ではEから植生帯までの距離は158mと変わらなかったが、繁茂域が南向きに急速に広がり、Aからの南向き距離は200mとなった。さらに2009年には2005年と同様、Eから植生帯までの距離は150mと変わらなかったが、防砂突堤に張り付くまで植生帯が広がり、三角形の前浜のほぼ1/2が植生帯で覆われた。

この付近では4.で述べたようにSSW方向からの風が卓越している。この風条件のもとでは、ほぼ南北に延びた防波堤の東側隣接部は防波堤により遮蔽される。このため海浜中央部より相対的に飛砂量が小さく土壌が安定しやすい条件となったことにより植生帯の繁茂が助長されたと考えられる。

(2) コアジサシの営巣

南防波堤南側に新たに形成された砂浜は、人が近づきにくい場所にあるために植生が侵入するとともに野鳥が多く集まる空間へと変化していると推定された。このような環境変化を調べるために、2009年6月25日と8月19日に飯岡漁港の南防波堤隅角部に形成された砂浜の現地踏査を行った。まず図-5は、刑部岬から見下ろす飯岡漁港の南防波堤とその南側に形成された砂浜状況を示す。南防波堤は西向きに延びた後ほぼ直角に折れる。この防波堤隅角部に西向き沿岸漂砂が堆積して砂浜が形成されている。砂浜は、防波堤の東側隅角部Eでいったん途切れるが、その西側にも広い砂浜がある。隅角部Eの沖合には広い砕波帯があることから砂は隅角部Eより西側へと回り込んでいることが明らかである。南防波堤の隅角部に形成された砂浜ではコアジサシが集合し、良好な営巣地となっていた。防波堤に沿って先端部へ向かい、砂浜を西向きに望んだのが図-6である。

砂の打ち上げにより広い砂浜が形成されている。この砂浜について、後浜と植生帯の境界付近を望んだのが図-7であるが、波の作用を受けることが希な後浜の端部付近では細砂が飛砂により北向きに運び去られたため、地表面には風によって移動ができない貝殻やゴミが残されていた。この裸地では卵と貝殻の見分けがつかず卵が保護されることからコアジサシにとって安全な産卵地となっていた。

文献³⁾によれば、コアジサシ (*Sterna albifrons*) はチドリ目カモメ科に分類される鳥で、体長約24cmで翼と尾羽がツバメのように細くとがり嘴もまっすぐ伸びる。わが国では本州以南に夏鳥として渡来して繁殖するが、繁殖地の減少に伴い数が減っている。海岸、埋立地、川原などの砂地や礫地にコロニーをつくって繁殖する。浅い窪みをつくり、そこに貝殻などを敷いて卵を産む、とある。

図-8は、実際に図-7の区域で発見されたコアジサシの卵である。半分砂に埋まりつつも3個の卵が確認できる。卵の色や模様は砂礫地となじむような保護色となっている。雛も同様で、トビやカラスなど上空から襲う外敵からの脅威を少しでも軽減させる色を有する。このように西向きの沿岸漂砂が堆積してできた砂浜の後浜はコアジサシにとって良好な産卵地となっていた。

一方、図-6のように防波堤に沿って並べられた異形ブロックの間隙を通過して、夏季の卓越風であるSSW方向からの風的作用により飛砂が発生し、それは防波堤上に乗り上げ、さらに一部は防波堤の裏側へと落ち込んでいた (図-9, 10)。防波堤上で

きた模様は、異形ブロックの間隙を通った飛砂がブロック背後に堆積してできたものであり、また防波堤の裏側に安息勾配をなして砂が堆積していることが見てとれる。もともと防波堤の延伸に伴って沿岸漂砂が阻止されたため砂浜が形成されたのであるが、砂浜を形成させた沿岸漂砂とほぼ逆方向の風により飛砂が運ばれ、砂浜の変形が続いていることが明らかである。なお、AB間の砂浜の背後の植生帯には半固結土砂が露出していた (図-11)。土砂に大量の貝殻片を含むことから航路浚渫土砂が置かれたものと推定されるが、これは空中写真による汀線変化解析のみでは見落とされる情報である。

6. 南防波堤により阻止された沿岸漂砂量の推定

宇多ら²⁾によれば、飯岡漁港の下手側に位置する飯岡海岸では1975年に離岸堤の建設が始まり、1986年までに10基が建設された (2009年現在16基)。離岸堤の建設後、個々の離岸堤背後にトンボロが形成されるのではなく、離岸堤群背後においてまず西部で汀線前進が始まり堆積域は次第に東部へと広がった。これは飯岡漁港の浚渫土砂が竜王崎の先端付近から約 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で投入され、それが西向きの沿岸漂砂によって運ばれ堆積したことによる。このとき堆積土砂量と前浜面積の変化量の相関関係より、漂砂の移動高が4.3mと得られた。また宇多³⁾らのp.345の図-8に示されているように、縦断形の比



図-5 刑部岬から見た飯岡漁港 (2009年8月19日撮影)



図-6 防波堤隅角部に形成された砂浜 (2009年6月25日撮影)



図-7 後浜と植生帯の境界付近におけるコアジサシ産卵地 (2009年6月25日撮影)



図-8 コアジサシ産卵地で発見された卵 (2009年6月25日撮影)



図-9 防波堤の隙間を抜けて運ばれた堆積した飛砂 (2009年8月19日撮影)



図-10 防波堤上の飛砂の作った模様と防波堤背後への堆砂 (2009年6月25日撮影)



図-11 防波堤隅角部に形成された砂浜で観察された浅漠土

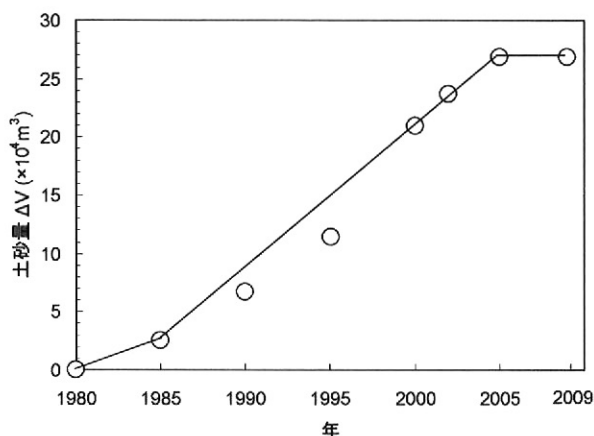


図-12 防波堤隅角部に形成された砂浜の土砂量変化

較によれば、離岸堤群の沖合には水深約4mの平坦面が広がっており、このため標高2mからほぼ-4mの間で地形変化が起きたことを明らかにした。このことから、刑部岬直下から防砂突堤に挟まれた区域について、1980年基準での前浜面積の増加量を求め、上記の漂砂の移動高（4.3m）を乗じると海浜土砂量への換算が可能となる。図-12はこのようにして求めた海浜土砂量の変化を示す。1980年から1985年までの土砂増加割合は $5.0 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ と相対的に小さかったが、1985年から2005年までの10年間は $1.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ まで増加している。その後2005年から2009年では土砂量の増加はほとんど見られず横ばい状態にある。屏風ヶ浦方面からの沿岸漂砂の供給は現在も続き、かつ下手側の飯岡海岸の離岸堤群では砂の堆積が進んでいることを考慮すれば、現在ではこの沿岸漂砂は下手側へと流出し、結果的にはほぼ動

的平衡状態に達していると考えられる。

7. まとめ

千葉県九十九里浜の北端に位置し、屏風ヶ浦の海蝕崖からの土砂供給を受ける飯岡漁港周辺での現地実測という限られた条件下ではあるが、実測により次の結果が得られた。

当地域の卓越風向はSSWであり、しかも春季～夏季の3～8月に卓越している。防波堤による沿岸漂砂の阻止によって形成された広い砂浜では、春季～夏季のSSWの風に伴う飛砂により細砂がNNE方向に運び去られたため、地表面には風によって移動ができない貝殻やゴミが残された。この裸地にコアジサシの大産卵地が見出された。一方、SSW風の作用によって生じた飛砂は、防波堤に沿って設置された異形ブロック間を通過後、防波堤上に乗上げ、さらに一部は防波堤の裏側へと落ち込んだ。防波堤裏側で細砂が選択的に運ばれ堆積した空間は植物の生育に都合のよい空間となった。高波浪によって打ち上げられた貝殻を含む砂礫浜において、細砂分が飛砂によって選択的に運び去られたことがコアジサシの好適な産卵地の形成要因となったと同時に、飛砂の堆積空間は植物の生育空間となった。一方、飯岡漁港の南防波堤の南側で広がった砂浜では1985～2005年の間、その土砂量は $1.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で増加したが、2005～2009年では土砂量の増加はほとんど見られず、横ばい状態となった。屏風ヶ浦方面からの沿岸漂砂の供給は現在も続いていると見られることから、現在ではこの沿岸漂砂は下手側へと流出し、結果的に海浜はほぼ動的平衡状態に達していると思われる。そのような動的平衡海浜に重なるようにして上記環境変化が起きたことが分かる。

参考文献

- 1) 宇多高明：海岸侵食の実態と解決策，山海堂，p.302, 2004.
- 2) 宇多高明・桜本 弘・久保田 進：千葉県飯岡海岸の海岸侵食について，第34回海岸工学講演会論文集，pp.342-346, 1987.
- 3) 叶内 拓哉・安部 直哉：山溪ハンディ図鑑「日本の野鳥」，山と溪谷社，p.156, 1998.