

日本の砂礫浜における近年の汀線変化と今後のモニタリング

渡邊国広・加藤史訓

1. はじめに

海岸管理においては今後、気候変動の影響による海面水位の上昇等によって、全国的に砂礫浜が消失することが懸念されている。国土交通省国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）では、将来の砂礫浜の地形変化を気候変動の影響を考慮して予測する手法の開発を進めているが¹⁾、定期的にモニタリングをしながら、順応的に予測及び対策を修正していくことも欠かせない。

砂礫浜の地形変化を調査する方法としては深淺測量が挙げられるが、予算上の制約もあり、実施されているのは侵食対策事業等を実施中の海岸に限られる。気候変動による海面水位等の変化は、海岸侵食等の問題が現時点で生じていない海岸にも影響を及ぼすので、全国の砂礫浜を継続的にモニタリングできる体制の構築が課題となっている。

海域と陸域の境界となる海岸線（汀線）位置のモニタリングは、深淺測量よりも簡便に砂礫浜の地形変化を把握できる手法として海岸管理者によって実施されてきた実績があり、全国規模でも実施可能な調査手法として期待される。

表-1 地形図の内訳（離島及び沖縄を含む）

調査時点	図郭数	平均更新 間隔(年)*	未更新 図郭数
最旧版	682		
1978年	634	73	0
1992年	630	15	4
2006年	558	11	72

*未更新の図郭も含めて算定

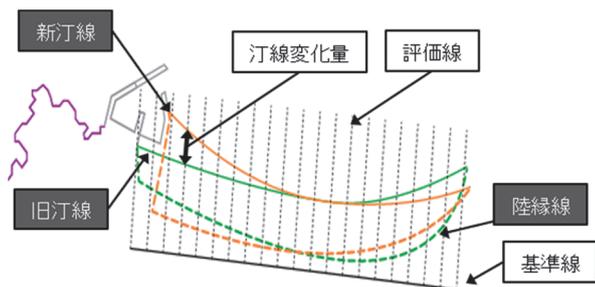


図-1 汀線変化量の計測方法

国総研は昨年、約30年ぶりに全国調査の結果を公表したので、本稿では第2章でその内容を紹介する。次に汀線位置の変化に着目することの妥当性を確認するために実施した、砂礫浜面積及び海中土砂量の変化の調査について第3章で紹介する。これらを踏まえ、地形図をもとにした従来の調査手法の課題と海岸線モニタリングの今後の展開について第4章で述べる。

なお、海岸線のモニタリングは砂礫浜だけでなく、崖海岸や岩礁海岸も含むものであるが、本稿では砂礫浜のみを対象としていることから、区別のため、海岸線ではなく汀線という表現を用いる。

2. 砂礫浜の汀線変化

2.1 既往研究

砂礫浜の汀線変化を全国規模で調査した例としては、田中らによる調査²⁾が挙げられる。これは、国土地理院刊行の5万分の1地形図から汀線を判読して2時期間の変化を比較したものである。1978年から1992年までの間に $160 \times 10^4 \text{ m}^2$ /年の速度で国土が消失したことが示され、侵食対策の必要性を訴えるものとして引用されてきた。

2.2 汀線変化の調査方法

国総研では田中ら²⁾の調査以降の変化を把握するため、2006年時点最新の数値地図50000を使用して同様の調査を実施した。既往調査の再現性を確認するため、1978年時点及び1992年時点最新の5万分の1地形図からの汀線判読も改めておこない、さらに古い時期のデータを得るために最旧版地形図（平均測量年は1905年）からの判読も実施した。各時期について使用した図郭数の内訳は表-1の通りである。また、最旧版から1978年時点までの途中経過の参考として、岸田・清水³⁾が作成した1953年時点の海岸線データも加えた。なお、地形図における「海岸線」は満潮時の陸海境界であり、誤差は数m以下のオーダーとされている。本調査の判読過程で生じる誤差も考慮して

1m/年以上の変化は、有意なものと考えた。最旧版地形図の位置合わせが困難な沖縄県及び離島、北方領土は解析対象外とした。

汀線の判読はGIS上でおこない、沿岸方向に100m間隔で設定した評価線上における汀線位置の変化を計測した(図-1)。具体的な方法については、渡邊ら⁴⁾を参照されたい。

なお、2006年から現在までの変化については、

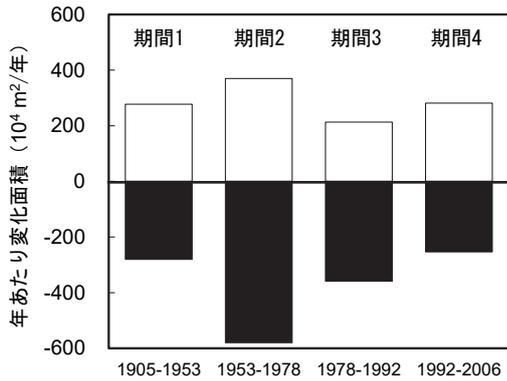


図-2 汀線変化から求めた砂礫浜面積の変化 (白：汀線前進箇所、黒：汀線後退(侵食)箇所)

a) 期間3 (1978年～1992年)



b) 期間4 (1992年～2006年)

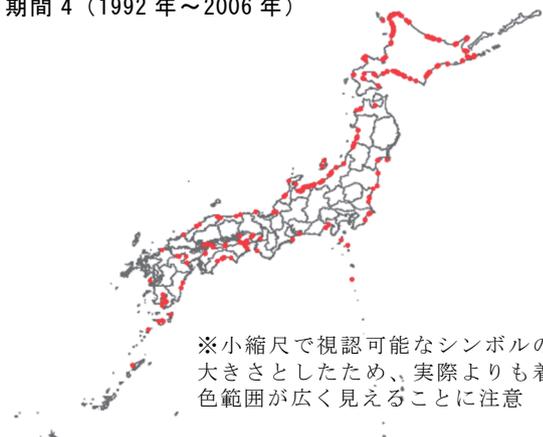


図-3 汀線後退が3m/年以上の箇所

東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動及び津波による地形変化の影響が大きいという、後述のとおり、衛星画像によるモニタリングに移行する予定であることから、今回の調査では扱わないこととした。

2.3 全国的な汀線変化の状況

砂礫浜の汀線変化は、汀線が沖方向に移動する前進と陸方向に移動する後退に分けられ、後者が海岸侵食と呼ばれる。汀線が前進した箇所と後退箇所それぞれについて、その変化量に評価線間隔を掛けて変化面積として集計した結果が図-2である。前進箇所については、1905年から概ね $200 \times 10^4 \sim 400 \times 10^4$ m²/年の範囲で増減を繰り返しているのに対して、後退箇所については、1953年～1978年の -580×10^4 m²/年をピークに減少が徐々に緩和しつつあった。前進箇所と後退箇所の変化面積を合計した収支は、期間3(1978～1992年)では -145×10^4 m²/年と田中ら³⁾の調査結果に近い値になる一方、期間4(1992～2006年)では $+28 \times 10^4$ m²/年と算定された。また、侵食傾向が強いとされる3 m/年以上の汀線後退が生じた箇所は既往調査と比べて減少していた(図-3)。なお、砂礫浜の総延長は最旧版(概ね1905年)で7,653 kmであったものが、1992年、2006年にはそれぞれ、5,099 km、4,964 kmと減少していた(表-2)。

汀線変化の合計だけを見れば海岸侵食が緩和し

表-2 各時期における砂礫浜延長と変化量の内訳

調査時点	総延長 (km)	後退延長 (km)		前進延長 (km)	
		合計	3 m/年以上	合計	3 m/年以上
最旧版	7,653				
1978年	5,449	3,203	63	2,581	74
1992年	5,099	2,799	279	1,957	132
2006年	4,964	2,298	136	2,231	190

表-3 汀線変化傾向の変化

		期間3の汀線変化(箇所)			
		後退	変化なし	前進	その他
期間3の汀線変化(箇所)	後退	11,162	59	10,477	1,283
	変化なし	420	18	303	15
期間4の汀線変化(箇所)	前進	12,833	41	7,737	1,697
	消失	2,512	0	0	0
	その他	1,061	3	1,051	0

※期間3:1978年～1992年、期間4:1992年～2006年

たように見えるが、かつて広い範囲に分布していた砂礫浜が、より少ない範囲に偏在しつつあることを示す結果であると考えられた。

2.4 汀線後退箇所の変化

1978年～1992年に後退傾向にあった評価線27,988箇所のうち、2006年時点で砂礫浜が消失した箇所は2,512箇所（9.0%）、1992年～2006年も後退傾向であったのは11,162箇所（40%）であった。これに対して1978年～1992年に前進傾向にあった19,568箇所のうち、10,477箇所（54%）が1992年～2006年に後退傾向に転じていた（表-3）。この結果は、1992年までに後退傾向にあった箇所のうち約60%では後退が止まった一方で、別の箇所で新たに後退が生じたことを意味する。後退箇所では離岸堤の整備等の海岸侵食対策による効果があったものの、施設整備箇所の漂砂下手側に侵食箇所が移ったケースも多いと推察される。これらの汀線変化の原因には様々なものがあるため、海岸ごとに確認する必要がある。

3. 砂礫浜の平面的な変化

3.1 砂礫浜面積の変化

砂礫浜の陸側の境界（陸縁線）を判読し、汀線と陸縁線との距離を沿岸方向に約50m間隔で設定した評価線上で計測することで砂礫浜面積を算定したところ、2006年時点では $21,312 \times 10^4 \text{ m}^2$ であった。砂礫浜面積の1年あたりの変化は1978年～1992年が $-249 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{年}$ であったのに対して1992年～2006年は $-115 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{年}$ であり、やや緩和されたものの、減少傾向は続いていた。前述の汀線変化だけに着目して集計した面積変化は $+28 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{年}$ であることを考えれば、砂礫浜面積の減少は陸縁線の変化に起因するものが大きいことになる。原因としては海岸護岸の緩傾斜化や保安林の前進、土地利用の海側への拡大などが挙げられ、それらにも注視していく必要がある。

3.2 海中における土砂量の変化

海岸を管理するうえで、海中も含めた土砂量が重要であることから、代表的な13海岸（図-4）について、汀線変化調査の期間（1992年～2006年）に近い時期の深淺測量成果の分析もおこなった。海底勾配の変化が確認された水深を境界として各海岸を2～3の区域に分け、区域ごとに海底の地盤高変化の空間平均値を求めたうえで、各海

岸における土砂量変化を算定した（図-5）。

13海岸のうち10海岸については地形図から判読した汀線変化の傾向と深淺測量結果から算定した土砂量変化の傾向が概ね一致しており（図-6）、汀線変化をモニタリングするだけでも海中の土砂量変化の傾向を概ね把握できることが示唆された。

ただし、残りの3海岸については、地形図上は汀線が前進していたのに対して土砂量は減少していた。離岸堤などの漂砂制御施設や養浜によって汀線後退は抑制されたものの、海中においては土砂消失が続いているためと考えられた。この結果は、汀線後退が見られない場合には、安易に侵食が生じていないと判断せず、沖で土砂減少が生じている可能性も疑う必要があることを意味する。



図-4 土砂量変化を算定した海岸

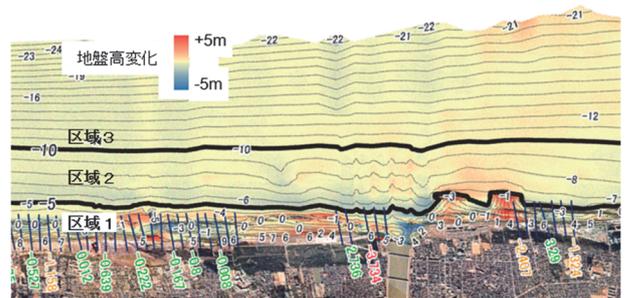


図-5 土砂量変化の算定範囲の例（新潟海岸）

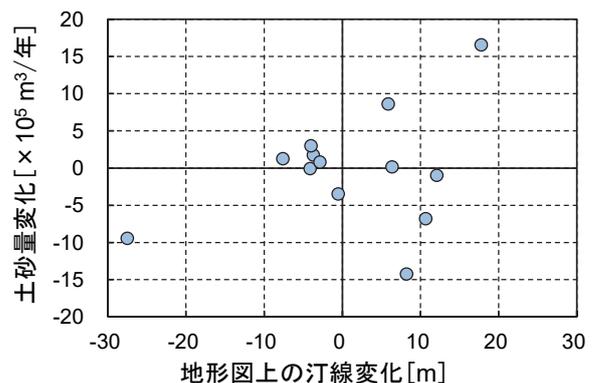


図-6 地形図上の汀線変化と土砂量変化の関係

4. 地形図を用いた調査の課題と今後の展望

4.1 地形図の更新頻度

汀線の判読結果を海岸ごとに確認すると、侵食傾向にあるとされている海岸にも関わらず、汀線が前進しているケースも見られた。原因の1つとしては、汀線の短期変動の影響が考えられる。砂礫浜の汀線は短期変動を繰り返しながら、中長期的に変化していくものである。2つの時期の間の汀線変化を評価するとき、短期変動のフェーズと地形図作成のタイミングによっては、中長期的には汀線が後退傾向にあったとしても、短期変動の影響で汀線前進と判定される場合がある。

このような誤差は、全国集計では様々なタイミングの判読結果が合計されることで緩和され、全体の傾向を変えるほどの影響はないと考えられるが、特定の海岸に着目した場合には無視できない。短期変動の主要因が季節変動である場合には、計測時期を揃えることで影響を緩和できるが、更新頻度が十数年に1回の地形図では対処できない。

更新頻度の課題を克服するため、今後は衛星画像を主流としたモニタリングに転換していくことが必要であろう。1つの衛星だけでも同じ箇所が年数回の頻度で観測されるため、短期変動と中長期的な汀線変化の分離も可能となると期待される。

ただし、地形図に比べて膨大な量のデータを処理せねばならないため、国総研では深層学習によって衛星画像から砂礫浜の汀線を自動抽出する技術の開発を進めているところである。

4.2 海中における侵食の進行

汀線変化のモニタリングだけでは海中で侵食が進行しているケースを見落とす可能性がある。航空機等に搭載のグリーンレーザーや海中を透過しやすい波長を用いた衛星観測、漁船の魚群探知機の活用など、広範囲の海底地形を計測できる手法が提案されている。現状では、海象によっては計測可能な水深が制限される、コスト面で全国規模での計測が難しい等の課題があるが、いずれ全国モニタリングの対象が海中にも拡大することを見据えて、技術開発を進めていく必要がある。

5. まとめ

本稿では、日本全国の砂礫浜における汀線変化を地形図の判読により調査した結果として、全国

合計では前回調査よりも汀線後退が緩和されたものの、新たに後退に転じた箇所もあることを紹介した。汀線変化に着目することで砂礫浜の地形変化を概ねモニタリングできることを海中土砂量の調査結果をもとに示す一方で、海中で生じている侵食が汀線変化にあらわれていないケースもあること、陸側境界の変化によって砂礫浜面積が減少傾向にあること等の留意点も紹介した。今回の調査により、地形図を用いた調査には更新頻度の低さや精度検証が難しいこと等の課題もあることが確認されたことから、今後は衛星画像を活用したモニタリングに転換し、全国規模の調査を継続的に実施できる体制を構築していく方針である。

謝 辞

本研究の実施にあたり、茨城県、神奈川県、静岡県からは深淺測量成果を提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 渡邊国広、加藤史訓、高木利光、保坂幸一、座波健仁：気候変動影響の考慮方法の違いが長期海浜変形予測に与える影響、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.78、No.2、pp.I_997～I_1002、2022。
- 2) 田中茂信、小荒井衛、深沢満：地形図の比較による全国の海岸線変化、海岸工学論文集、第40巻、pp.416～420、1993。
- 3) 岸田弘之、清水雅行：海岸情報調査による海岸侵食・堆積の抽出、海岸工学論文集、第47巻、pp.681～685、2000。
- 4) 渡邊国広、加藤史訓、諏訪義雄、山田浩次：地形図の判読による全国の砂礫浜における汀線変化の把握、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.78、No.2、pp.I_571～I_576、2022。
- 5) 渡邊国広、加藤史訓、松崎和敏、土屋美恵、佐野滝雄：光学衛星画像からの汀線抽出における画像処理方法の適用性評価、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.77、No.2、pp.I_1111～I_1116、2021。

渡邊国広



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部海
岸研究室 主任研究官、
博士（農学）
Dr.WATANABE Kunihiko

加藤史訓



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部
海岸研究室長、博士(工学)
Dr. KATO Fuminori