

令和5年度

卒業論文

題目

千葉県東部海岸夷隅地域における海食崖侵食  
に関する研究

国士舘大学 文学部 史学地理学科 地理・環境コース

4年 学籍番号20-5J494

氏名：村河 希望

指導教員：長谷川 均 先生

提出日：令和5年12月11日

## 要旨

千葉県東部の夷隅地域では、堆積時期の異なる三浦層群と上総層群に分布する泥岩と砂岩泥岩互層からなる海食崖が形成されている。本調査では、太東岬、大原、勝浦、鶴原、小湊の5海岸を研究対象とした。太東岬、大原、勝浦では上総層群に分布しそれぞれ泥岩、泥岩、泥岩砂岩互層の海食崖が形成されており、鶴原、小湊では三浦層群に分布し砂岩泥岩互層と泥岩の海食崖が形成されている。ここでは、地質、堆積年代、岩石硬度、節理密度の違いによる海食崖の侵食速度への影響を明らかにすることを目的とした。

侵食速度を調べるために、佐々木ほか（1995）の計測方法を参考に 1/25000・1/50000 地形図の最新版、最旧版を使って QGIS で各海岸の侵食速度を計測した。また、現地調査ではシュミットハンマーによる岩石硬度の測定と節理密度の測定を行った。

調査の結果、1/25000 地形図では、泥岩の方が砂岩泥岩互層よりも侵食速度が速くなっており、1/50000 地形図では、砂岩泥岩互層の方が泥岩よりも侵食速度が速くなる結果となった。このような結果となった1つの要因は、使用した地形図の年代や期間が異なるためであると考察した。岩石硬度の結果では、砂岩泥岩互層の方が泥岩よりも硬い岩質であることがわかり、また節理密度の測定結果では、砂岩泥岩互層の方が泥岩よりも節理密度が高くなっていた。しかし、泥岩の壁面に剥離があり正確な測定ができなかったため、剥離を節理と捉えると砂岩泥岩互層よりも泥岩の方が節理密度が高くなることがわかった。したがって、1/25000 地形図では泥岩において岩石硬度が低く節理密度が高いため、侵食に対する抵抗力が弱く侵食速度が速くなったと推測した。この結果から、泥岩の方が乾燥や湿潤といった気候の変化に影響を受けやすいことから、波などの侵食作用に対する抵抗力が低いと考察した。

## 目次

要旨 .....	ii
目次 .....	iii
図表目次 .....	v
I はじめに .....	1
II 研究史 .....	3
III 調査地域の概要 .....	5
III-1 地形・地質概要 .....	5
III-2 海岸ごとの地形概要 .....	7
(1) 太東岬 .....	7
(2) 大原 .....	8
(3) 勝浦 .....	10
(4) 鶴原 .....	11
(5) 小湊 .....	13
IV 調査方法 .....	15
IV-1 地形図を用いた侵食速度の測定 .....	15
IV-2 シュミットハンマーによる硬度測定 .....	18
IV-3 節理密度の測定 .....	18
V 調査結果 .....	19
V-1 侵食速度測定の結果 (1/25000 地形図) .....	19
(1) 太東岬の侵食速度結果 .....	20
(2) 大原の侵食速度結果 .....	21
(3) 勝浦の侵食速度結果 .....	22
(4) 鶴原の侵食速度結果 .....	23
(5) 小湊の侵食速度結果 .....	25
V-2 侵食速度測定の結果 (1/50000 地形図) .....	26
(1) 太東岬の侵食速度結果 .....	27
(2) 大原の侵食速度結果 .....	28
(3) 勝浦の侵食速度結果 .....	30
(4) 鶴原の侵食速度結果 .....	31

(5) 小湊の侵食速度結果 .....	33
V-3 硬度測定の結果 .....	35
(1) 太東岬の岩石硬度結果 .....	36
(2) 大原の岩石硬度結果 .....	37
(3) 勝浦の岩石硬度結果 .....	37
(4) 鶴原の岩石硬度結果 .....	38
(5) 小湊の岩石硬度結果 .....	39
V-4 節理密度測定の結果 .....	40
VI 考察 .....	42
VI-1 各海岸の年間侵食速度 .....	42
VI-2 各海岸の岩石硬度 .....	44
VI-3 各海岸の節理密度 .....	45
VI-4 岩石硬度・節理密度と侵食速度の関係 .....	45
参考文献 .....	46

## 図表目次

図 1	岩石海岸の分類 .....	1
図 2	調査地域の位置図 .....	5
図 3	調査地域の地質図 .....	6
図 4	太東岬の概観 .....	7
図 5	大原の概観 .....	8
図 6	勝浦の調査地の概観 .....	10
図 7	勝浦の現地調査地の概観 .....	10
図 8	鵜原の概観 .....	11
図 9	小湊の概観 .....	13
図 10	鵜原での侵食速度測定方法 .....	15
図 11	太東岬、大原、勝浦における侵食速度の測定方法 .....	16
図 12	1/25000 地形図から測定した海食崖の年間侵食速度 ..	19
図 13	太東岬の調査地点 .....	20
図 14	太東岬における調査地点ごとの侵食速度 .....	20
図 15	大原の調査地点 .....	21
図 16	大原における調査地点ごとの侵食速度 .....	21
図 17	勝浦の調査地点 .....	22
図 18	勝浦における調査地点ごとの侵食速度 .....	22
図 19	鵜原の調査地点 .....	23
図 20	鵜原における調査地点ごとの侵食速度 .....	24
図 21	小湊の調査地点 .....	25
図 22	小湊における調査地点ごとの侵食速度 .....	25
図 23	1/50000 地形図から測定した海食崖の年間侵食速度 ..	26
図 24	太東岬の調査地点 .....	27
図 25	太東岬における調査地点ごとの侵食速度 .....	27
図 26	大原の調査地点 .....	28
図 27	大原における調査地点 .....	28
図 28	勝浦の調査地点 .....	30
図 29	勝浦における調査地点ごとの侵食速度 .....	30

図 30	鵜原の調査地点.....	31
図 31	鵜原における調査地点ごとの侵食速度.....	32
図 32	小湊の調査地点.....	33
図 33	小湊における調査地点ごとの侵食速度.....	34
図 34	海食崖の海岸別岩石硬度.....	35
図 35	太東岬における調査地点ごとの岩石硬度.....	36
図 36	大原における調査地点ごとの岩石硬度.....	37
図 37	勝浦の岩石硬度.....	37
図 38	鵜原における調査地点ごとの岩石硬度.....	38
図 39	小湊における調査地点ごとの岩石硬度.....	39
図 40	海食崖の海岸別節理密度.....	40
表 1	各海岸の特徴.....	14
表 2	各海岸で使用した 1/25000 地形図.....	17
表 3	各海岸で使用した 1/50000 地形図.....	17
写真 1	太東岬の海食崖.....	7
写真 2	小浦海岸の海食崖.....	9
写真 3	小波月海岸の海食崖.....	11
写真 4	勝浦海中公園の海食崖.....	12
写真 5	妙の浦の海食崖.....	13
写真 6	太東岬でみられた転石.....	36
写真 7	太東岬でみられた転石.....	36
写真 8	小湊でみられた転石.....	39
写真 9	小湊でみられた転石.....	39
写真 10	小湊でみられた節理.....	40
写真 11	大原でみられた節理.....	40

I はじめに

岩石海岸にみられる侵食地形は、主に海食崖や海食台、波食棚などがあげられる。これらの地形が分布する岩石海岸の地形は、図1のように3タイプに分類することができる(Sunamura, 2015)。Type Aは顕著な地形の切れ目がなく、海食崖の基部から海面下まで緩やかに下降する侵食面(波食棚)がある。一方、Type Bは海食崖の前に水平または準水平の侵食面(波食棚)を持ち、その侵食面は海側の顕著な崖で終わる。Type Cは波食棚が形成されておらず、垂直または半垂直面として海面よりはるかに下に落ち込む急峻な斜面である急落崖が発生する。本研究の対象地域である夷隅地域の岩石海岸では、Type AとType Bの2タイプの地形がみられる(辻本, 1983)。

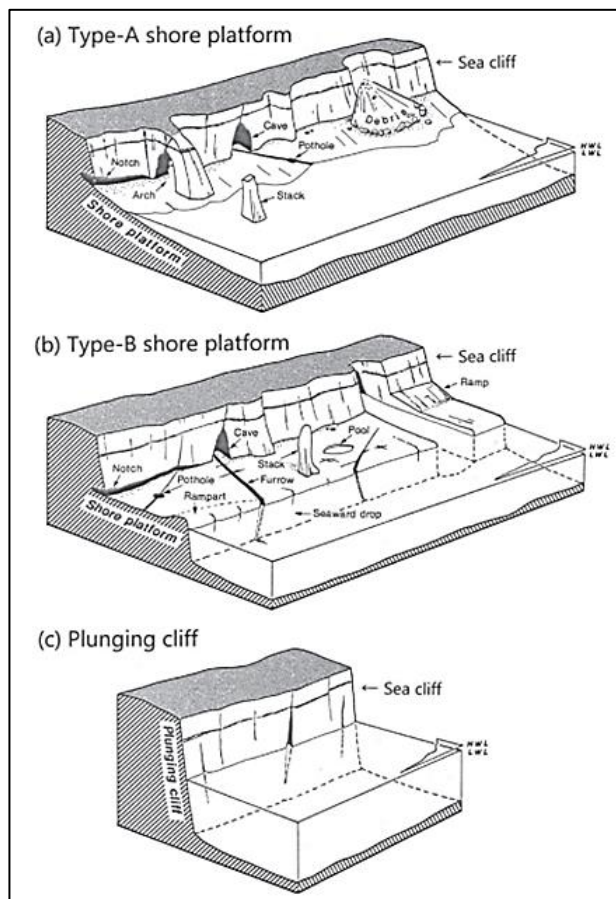


図1 岩石海岸の分類：(a) Type A 波食棚(傾斜型)，(b) Type B 波食棚(水平型または準水平型)，(c) 急落崖(Sunamura, 2015)。

海食崖の研究において、地形図や空中写真を用いた後退速度の研究が多くなされている(堀川・砂村,1967,1969,1970;佐々木ほか,1995)。本研究では、空中写真を使わずに 1/25000・1/50000 地形図を用いて GIS で解析し、その値を元に海食崖の侵食速度を再計算した。この方法を用いるメリットとしては、空中写真を使う方法に比べて地図記号で海食崖が示されているため容易に海食崖を認識することができることがあげられる。加えて、1/50000 地形図を使用すれば空中写真よりも古い年代の研究ができるということもあげられる。一方で、デメリットとしては地図記号の海食崖では、高さ 5m 以上かつ長さ図上 2cm 以上のものが表示されているため、地形図上に表示されている海食崖が限られていることがあげられる。加えて、道路や建物などが実際の大きさと描かれていないため誤差が生じるということもあげられる。しかし本研究では、海食崖の侵食速度を測定するために効率的に海食崖を認識できるかつ長期間の計測ができることを重視し、地形図を使用することとした。

本研究では、千葉県東部海岸夷隅地域の太東岬、大原、勝浦、鵜原、小湊の 5 海岸に注目した。その理由としては、

- 1) 異なる岩質の海食崖がみられる
- 2) 海食崖が形成された年代が異なる
- 3) 以上の 2 つが 1 つの地域でみられる

ことがあげられる。

以上のことを踏まえて、本研究では地形図を用いて千葉県東部海岸の海食崖について侵食速度の測定と現地調査を行い、海食崖侵食の特徴を明らかにすることを目的とする。

## II 研究史

佐々木ほか(1995)は、茨城県北部海岸の海食崖について国土地理院発行の最旧版地形図、最新版地形図を用いて侵食速度を求めた。また、侵食量は摩擦量に比例するという考えから、崖の強度、物性、前浜の物性に着目した。その結果、前浜の有無によって侵食過程、速度が異なることがわかり、さらに前浜に砂鉄が含まれることによって、侵食が促進されることがわかった。また、侵食によって崩落した砂岩は前浜の堆積に付与しているが、泥岩は前浜に堆積せず、波により沖合へ運ばれているとした。

堀川・砂村(1970)は、千葉県屏風ヶ浦の泥岩凝灰質砂岩からなる海食崖において長期間にわたる侵食状況を調査した。1884年の地形図(縮尺 1/20000)と 1969年の地形図(縮尺 1/10000)を使用して 85年間の侵食距離を各測点で求め、年平均の侵食距離(m/year)を崖の侵食速度とした。加えて、1946年撮影の航空写真(縮尺約 1/40000)から図化した地形図(縮尺 1/50000)と、上述の 1967年撮影の航空写真(縮尺約 1/8000)から図化した地形図(縮尺 1/1000)をもとにして、各測点で 21.7年間の崖の変化を描いた。その結果、崖は現在の海岸線とほぼ平行に後退し、海底基盤の侵食速度は、水深が増加するごとに減少することがわかった。さらに堀川・砂村は、現生の海底堆積物が薄く海底基盤が軟弱な海岸に築造された構造物は、そのタイプによってはその前面の海底基盤が洗掘され、倒壊あるいは沈下の危険性があるとした。

砂村(1985)は、鴨川から屏風ヶ浦までの千葉県東部海岸において波食棚の岩盤から岩石試料を採取し、物理的性質、力学的性質の観点から調査した。その結果、調査地域の波食地形は、構成岩石の抵抗力(圧縮強度に不連続示数をかけたもの)の値によって明瞭に3つのタイプに区分されることがわかった。抵抗力が大きい地域では、岩石は侵食されず波食棚が形成されないため、Type Cの地形となる。やや抵抗力の小さい地域では、海水面付近でのみ侵食が生じるため、海水面付近に Type Bの波食棚が形成されている。

そして、抵抗力の小さい地域では、侵食が海面下へおよび、海側に緩傾斜した Type A の波食棚が発達しているとした。

宇多ほか（1990）は、茨城県北部の五浦海岸の海食崖において岩石の採取、分析と海食崖の巻き尺を用いた実測、目視による地層分布のスケッチを行った。その結果から、宇多ほかは冬期において岩石の割れ目に入った海水が凍結膨張し、岩石を劣化させうると考え、また、1年間の降水量として岩質によっては地滑りや雨溝侵食が生じうるという考えを示した。さらに、砂岩・泥質砂岩層・凝灰岩・泥岩互層は、水に対して岩質が不安定である一方、石灰岩層は吸水率が小さく、水に対して安定した岩質であることがわかった。侵食速度は、他の砂岩・泥岩から成る海食崖の平均後退量である  $0.3 \sim 1.1 \text{ m/year}$ （堀川, 1973）と比較すると若干大きい値であった。北部、南部、東部の海食崖はそれぞれ異なった特徴を示した。

孫・青木（2021）は、房総半島と三浦半島において地理院地図の距離測定ツールを用いて、直線距離が 1 km となる海岸線上の 2 点を端点とする区間を設定し、その区間における海岸線の長さ（L）を計測した。海岸線の屈曲度は、単位区間長さあたりの海岸線の長さとして定義した。次に、シュミットハンマー（N 型）を用いて海食崖の基部において割れ目が少ない箇所を選び、反発硬度を計測した。測定方法は単打法による 10 回の打撃を行い、その平均をその調査サイトの代表値とした。その結果、縄文海進最高期の旧汀線高度、離水量の大小に関係なく、岩石強度の大きい海岸ほど屈曲度が大きくなることがわかった。さらに、現在みられる海岸線の屈曲度は、沈水直後の海岸線の初期形状にも依存することがわかり、沈水当時の海岸線の形状を復元・推定する方法を含めて検討する必要があるとした。

小池（1997）は、1972~1976 年における海岸環境研究委員会での過去 100 年間の海岸線の変化についてのプロジェクトに参加した。そこで、新旧の 1/50000 地形図を用いて幅 500 m、延長 5 km 以上の砂浜海岸線の汀線変化を計測した。小池は、自然条件

下での変化をみるために日本の砂浜海岸総延長約 9500km のうち、約 1150km の砂浜を計測した。その結果、太平洋岸では砂浜が前進した海岸が目立ったのに対し、日本海側では逆に後退している海岸が多いことがわかった。日本の発達のない砂浜海岸線は、1970年から過去 70 年間の変化では、やや前進傾向にあり、あまり人為的な要因が加わらなければ河川や近接する海食崖から供給される土砂によって、汀線は前進したと考えた。1960 年代以降になると、日本各地の大河川の河口部で砂浜海岸の侵食がはじまった。これにより、各地の海岸で海岸侵食防止工事が急速に進み、1970 年代以降、日本の海岸線の変化には人為的な影響が大きく係わるようになった。

### III 調査地域の概要

#### III-1 地形・地質概要

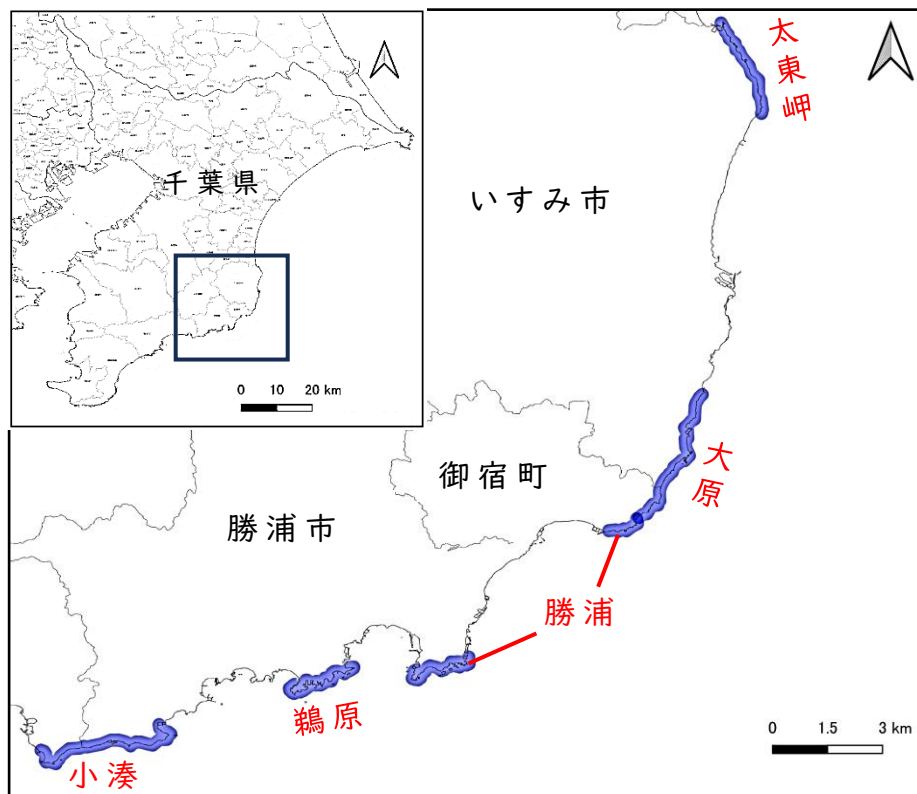


図 2 調査地域の位置図(地理院地図から引用)

調査地の位置する千葉県は、地形を標高ごとに区分すると、下総台地、東京湾沿岸平野、九十九里浜平野、利根川低地、江戸川低地、房総丘陵の6地形区に区分することができる（山口ほか,日本図誌大系 関東Ⅱ）。その中で今回の調査地が分布する夷隅地域は、房総丘陵に位置する。さらに房総丘陵は、鋸山—おせんころがしを境にして上総丘陵（北部）と安房丘陵（南部）に分かれており、今回の調査地である夷隅地域は、北部の上総丘陵に位置している（日本地誌研究所,日本地誌 第8巻 神奈川県・千葉県）。

本研究の調査地である海食崖は、太東岬はいすみ市、大原はいすみ市と御宿町、勝浦は勝浦市、鵜原は勝浦市、小湊は勝浦市と鴨川市の4つの市町に位置する（図2）。

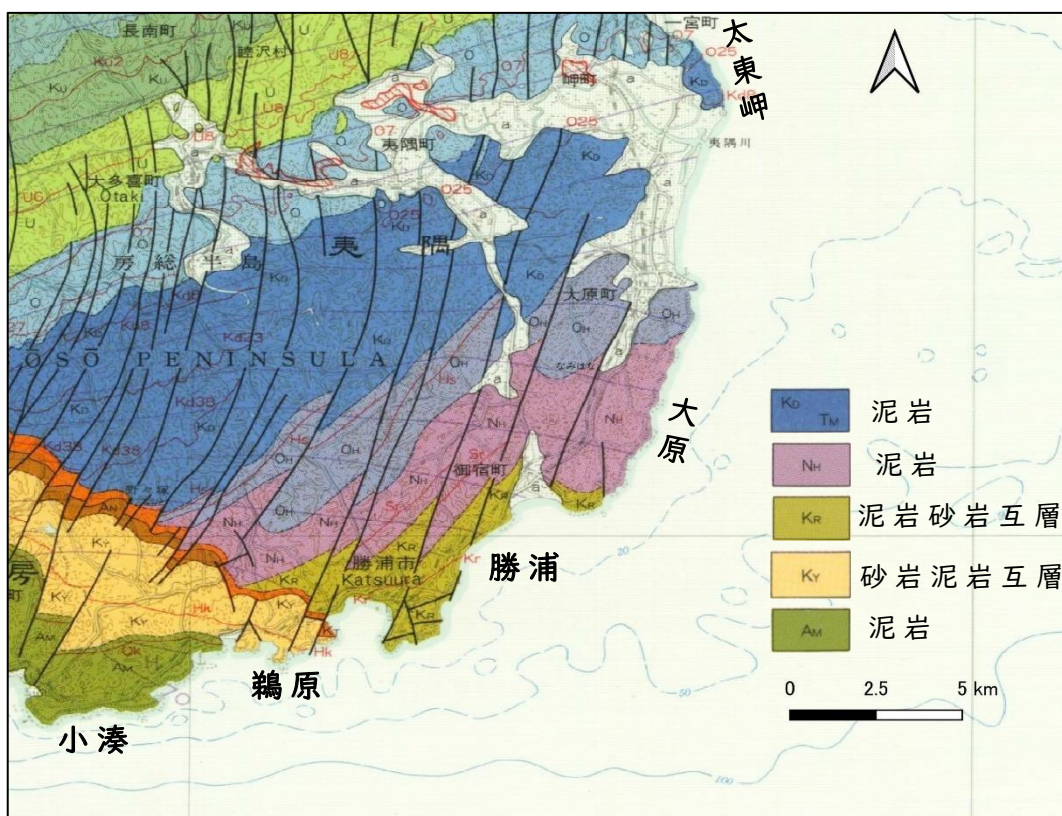


図3 調査地域の地質図（1:200000 地質図『大多喜』から引用）

本研究対象である5箇所の海岸は、それぞれ異なる地質となり太東岬、大原、小湊では泥岩が分布し、勝浦、鶴原では砂岩と泥岩の互層が分布している（図3）。さらに、地質年代は全海岸で新第三紀に属するが小湊、鶴原は中新世、勝浦、大原、太東岬は鮮新世～更新世前期となっており、北部と南部で堆積した時代が異なっている。

### III-2 海岸ごとの概要

#### (1) 太東岬

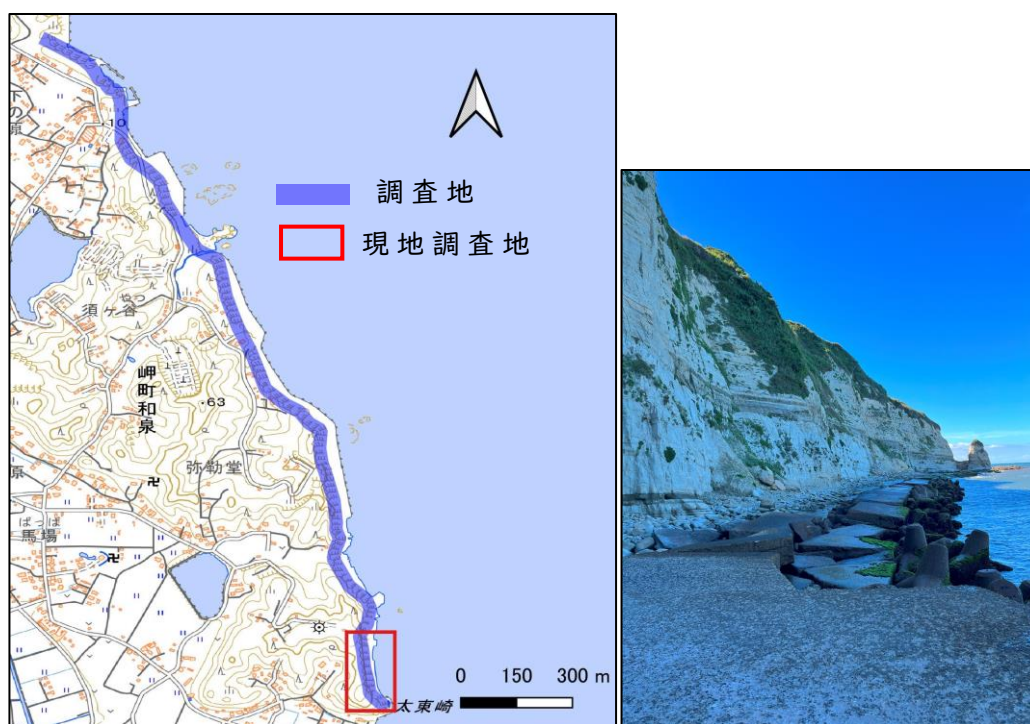


図4 太東岬の概観  
(地理院地図をもとに作成)



写真1 太東岬の海食崖  
(2023年8月25日撮影)

太東岬は九十九里浜の南端に位置し、約3kmの海食崖が発達している（図4）。太東岬の海食崖には1960年代に県によって崖の侵食対策として消波堤が設置されており、前浜はなく落石による転石が点在している（県土整備部 河川整備課 海岸砂防室, 九十九里侵食対策計画、写真1）。

太東岬の地質は、上総層群黄和田層の泥岩を主とする地層で、薄い砂岩を挟む水平な地層で構成され層厚は約 670 m となっている（日本の地質『関東地方』編集委員会,日本の地質3 関東地方）。また太東岬の波食棚は、海食崖の基部から海側に緩やかに傾斜しており、海底基盤は厚さ 0.5～1m の堆積物におおわれている TypeA の地形となっている（辻本,1985）。

## (2) 大原



図 5 大原の概観（地理院地図をもとに作成）

大原では、八幡岬から岩田漁港のいすみ市と御宿町にまたがって海食崖が約 9km にかけて発達しており、3 つの地質が存在する。大原の海食崖には、消波堤はなく前浜が存在する海岸と存在しない

海岸がある。また大原には波食棚があり、TypeB の地形となっている（辻本,1985）。

大原の地質は、上総層群浪花層、泥岩を主とする地層で、薄い砂岩層と凝灰質泥岩層を挟んでいる（日本の地質『関東地方』編集委員会,日本の地質 3 関東地方）。上総層群浪花層は勝浦市北部、御宿町北部、いすみ市大原町に分布し層厚は約 220 mとなっている。大原北部の八幡岬付近では砂岩泥岩互層が分布し、中央部の岩船付近では泥岩層、南部の岩和田付近では泥岩砂岩互層が分布している。

本研究では、海食崖の立地上現地調査に行ける場所が限られていたため、泥岩の分布する小浦海岸を調査地とし大原の主要海食崖とした（図 5、写真 2）。



写真 2 小浦海岸の海食崖（2023 年 8 月 25 日撮影）

## (3) 勝浦



図 6 勝浦の調査地の概観（地理院地図をもとに作成）



図 7 勝浦の現地調査地の概観（地理院地図をもとに作成）

勝浦は海食崖が全長約 2km で発達しており、消波堤はなく前浜も存在しないが波食棚が発達する箇所があり、TypeB の地形となっている（辻本,1985）。

勝浦の地質は、上総層群勝浦層の泥岩砂岩互層であり、勝浦市海岸から北西の御宿海岸付近まで分布し、層厚は約 250m となっている（日本の地質『関東地方』編集委員会,日本の地質 3 関東地方）。

本研究では、岩石硬度、節理密度を調査するにあたり勝浦において現地調査が可能な場所がなかったため御宿町の岩和田にある小波月海岸で現地調査を行った（図 6、7、写真 3）。



写真 3 小波月海岸の海食崖（2023年8月24日撮影）

（4）鵜原



図 8 鵜原の概観（地理院地図をもとに作成）



写真 4 勝浦海中公園の海食崖（2023年8月24日撮影）

鵜原は海食崖が全長約 2km で発達しており、リアス海岸のような入り組んだ地形になっている。鵜原は、消波堤がなく前浜も存在しないが波食棚が発達しており、TypeB の地形となっている（辻本,1985）。

鵜原の地質は三浦層群清澄層となっており、層厚 1~3m の細粒砂岩と 10 数 cm の泥岩の互層主とした連続性の良い地層となっている（日本の地質『関東地方』編集委員会,日本の地質3 関東地方）。ときにレンズ状の細礫岩層や泥岩がち砂岩と泥岩の互層も見られる。層厚は最大 870m であるが、東西方向へ薄くなる。

鵜原の岩石硬度と節理密度の現地調査は、立地の関係上勝浦海中公園付近の海食崖で行った（図 8、写真 4）。

## (5) 小湊



図9 小湊の概観（地理院地図をもとに作成）

小湊では、全長約 5km にかけて海食崖が発達しており大部分では消波堤がなく前浜もないが、波食棚が発達しており TypeB の地形となっている（辻本,1985）。

小湊の地質は、三浦層群天津層の泥岩および凝灰質砂岩と泥岩の互層であり、層厚は半島中央部で約 1,050m となるが、東西方向に薄くなる（日本の地質『関東地方』編集委員会,日本の地質 3 関東地方）。

小湊の岩石硬度と節理密度の現地調査は、小湊の西側に位置する妙の浦で行った（図9、写真5）。



写真5 妙の浦の海食崖（2023年8月24日撮影）

表 1 各海岸の特徴

	地質年代	地層区分	地質	地形タイプ	消波堤
太東岬	鮮新世～ 更新世前期	上総層群	泥岩	Type A	○
大原	鮮新世～ 更新世前期	上総層群	泥岩	Type B	×
勝浦	鮮新世～ 更新世前期	上総層群	泥岩砂岩 互層	Type B	×
鵜原	中新世	三浦層群	砂岩泥岩 互層	Type B	×
小湊	中新世	三浦層群	泥岩	Type B	×

上記で述べた各海岸の地質年代、地層区分、地質、地形タイプ、消波堤の有無についてまとめた表を作成した（表 1）。表からわかるように、どの海岸も地質年代～消波堤の有無までの 5 つの項目に対して異なる特徴を持っている。したがって、千葉県東部の 5 海岸では全てにおいて同じ特徴を持つ海岸は存在していない。

#### IV 調査方法

##### IV-1 地形図を用いた侵食速度の測定

海食崖の侵食速度を求めるために、使用した地形図は、国土地理院発行 1/25000 地形図・1/50000 地形図の最旧版と最新版を使用した（表 2,3）。この際、地形図を用いた侵食速度の計測方法は佐々木ほか（1995）の計測方法を参考にした。以下に、計測方法を示す。

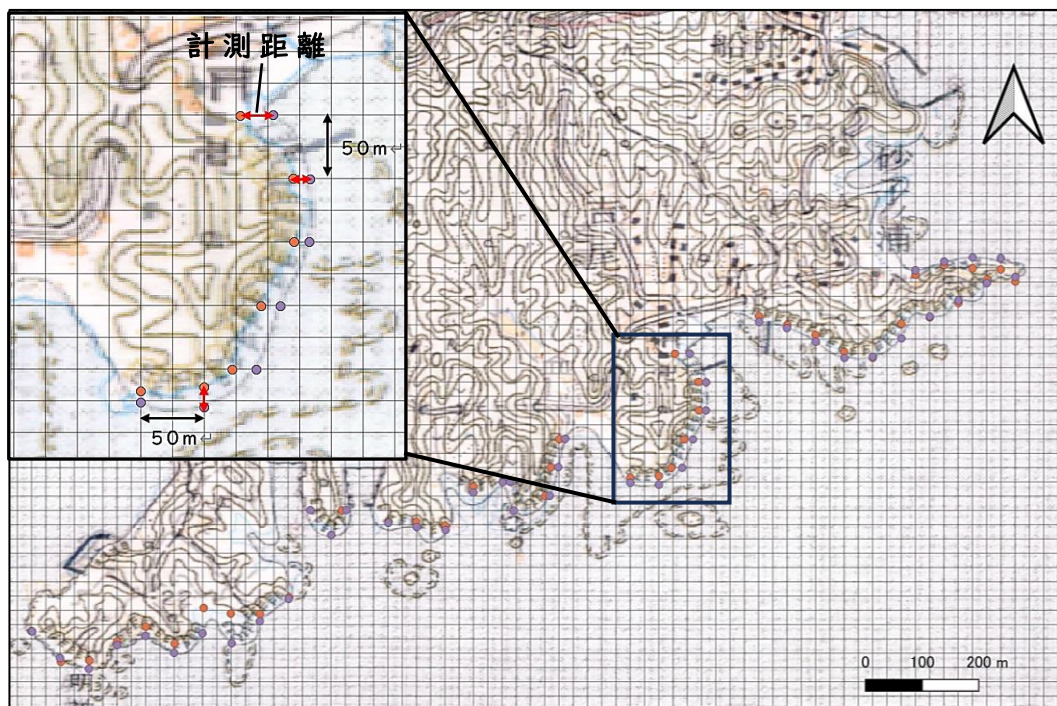


図 10 鵜原での侵食速度測定方法

まず、1/25000 と 1/50000 地形図の最旧版と最新版をそれぞれスキャニングし、画像データを作成する。作成した画像データに QGIS のジオリファレンサ機能を用いて座標を付与する。1/25000 地形図ではその後、QGIS 上で最旧版・最新版地形図、1 グリッド 25m のグリッドを作成して重ね合わせた。そこから、地図上の崖線（ここでは、地図記号の岩崖を使用する）に沿って 50m ごとに点を取り、旧版地形図と新版地形図の点同士の距離を

侵食速度とした（図 10）。しかし、地形図をスキャンする段階で画像に歪みが生じ、鵜原以外の海岸ではうまく重ね合わせることができなかった。したがって、他の 4 海岸では以下の通りに測定を行った。

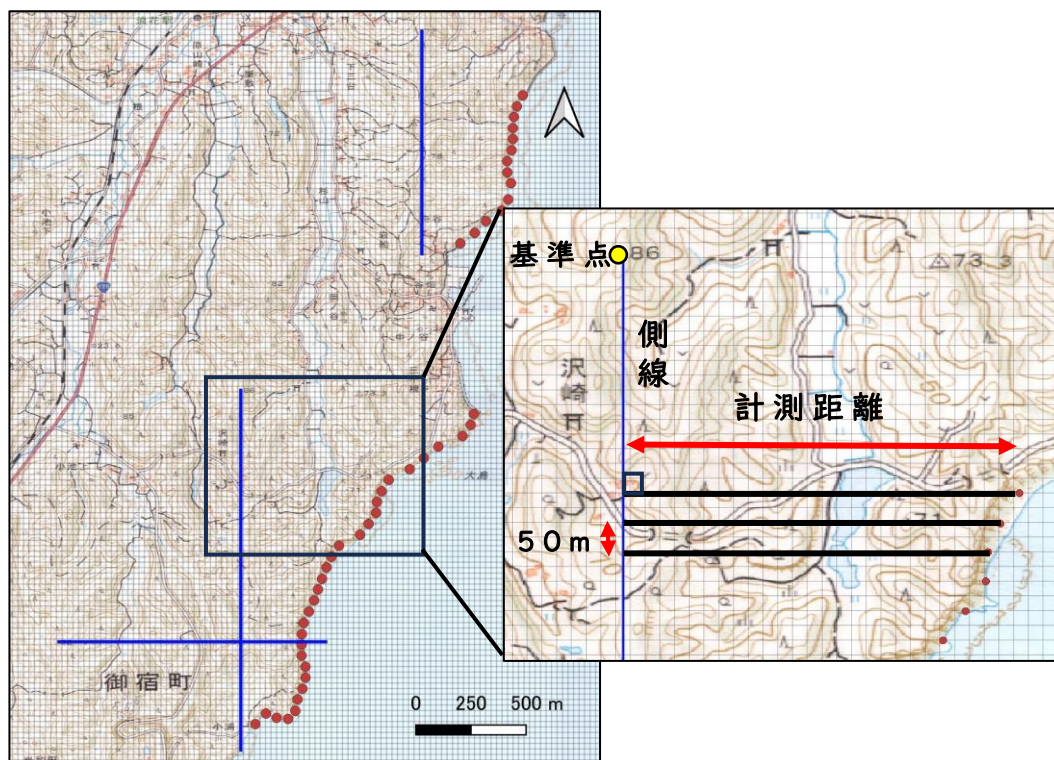


図 11 太東岬、大原、勝浦における侵食速度の測定方法

地形図の画像をジオリファレンサした後、地形図上に 1 グリッド 25m のグリッド線を作成し、その線をもとに崖線に沿って 50m 間隔で点を取る。地形図上で水準点や標高点などの長年変化しない地点を選択し、崖線と平行に近くなるようにグリッド線に沿って側線を引く。次に、点から側線に向かって垂直に線を引き、その距離を求める。旧版地形図で測った距離から新版地形図で測った距離を引き、さらに年代間隔で割ったものを侵食速度とした（図 11）。太東岬では 33 地点、大原では 46 地点、勝浦では 24 地点、鵜原では 40 地点、小湊では 76 地点で測定を行い、各地点の平均値を侵食

速度とした。

1/50000 地形図では、最大で 102 年前の地形図を使用したため 1/25000 地形図と比べて三角点、標高点、道路や鉄道などが変化していた。そのため、時系列地形図閲覧サイト『今昔マップ on the web』の 2 画面を同時に閲覧できる機能を用いて最旧版地形図と最新版地形図で同じ地点を選択し側線を引いた。この際、道路は実際の太さで描かれていないため、誤差を 5m として計測した。その後、地形図上に 1 グリッド 50m のグリッド線を作成し 1/25000 地形図と同様の方法で侵食速度を測定した。太東岬では 33 地点、大原では 42 地点、勝浦では 18 地点、鵜原では 23 地点、小湊では 75 地点で測定し、各地点の平均値を侵食速度とした。

表 2 各海岸で使用した 1/25000 地形図

地形図名	調査地	最旧版 地形図	最新版 地形図	年代間隔
上総長者	太東岬	1971 年	2018 年	47 年
上総大原	大原	1971 年	2015 年	44 年
勝浦	勝浦	1971 年	2019 年	48 年
勝浦	鵜原	1971 年	2019 年	48 年
安房小湊	小湊	1971 年	2017 年	46 年

表 3 各海岸で使用した 1/50000 地形図

地形図名	調査地	最旧版 地形図	最新版 地形図	時代間隔
上総大原	太東岬	1906 年	2008 年	102 年
上総大原	大原	1906 年	2008 年	102 年
勝浦	勝浦	1906 年	2003 年	97 年
勝浦	鵜原	1906 年	2003 年	97 年
鴨川	小湊	1906 年	2003 年	97 年

#### IV-2 シュミットハンマーによる硬度測定

本稿では、岩石・岩盤の計測に適したN型の改良版であるKS型のシュミットハンマーを使用した。岩石の表面に垂直になるようにシュミットハンマーの先端を押しつけ、同ポイントで15回計測する連打法で行った。表層の緩みや風化層の影響する最初の5回を除去し残りの10回の平均値をその岩石の強度（R値）とした（松倉・青木、2004）。

太東岬と小湊では、転石が多く点在していたため、転石10個を調査対象とした。さらに、表面が剥離している転石としていない転石があったため、それぞれ5個ずつ計測し、両方の結果を合わせた平均値をその海食崖の岩石硬度とした。

鶴原と勝浦では、泥岩砂岩互層であるため泥岩5地点、砂岩5地点で計測し、泥岩砂岩両方の平均をその海食崖の岩石硬度とした。

大原では、太東岬や小湊のように転石が見られなかったため、海食崖の侵食が進んでいる凹部分と侵食があまり進んでいない凸部分に分け、それぞれ5地点ずつ計測を行い、平均値を岩石硬度とした。

#### IV-3 節理密度の測定

海食崖の表面には節理が存在し、その節理の数が浸食作用に影響を与えていると考え、節理密度を計測した。

計測には1m×1mの針金を使用し、自分の目の高さで節理をしっかりと計測でそうな場所を調査対象とし、枠を横切る節理の本数を数えた。上記で述べたように、泥岩の割合が多いほど表面の剥離が見られたため、計測が不可能であった小湊を除いた4海岸で計測を行った。可能な限り、剥離の見られない地点で計測を行ったため、各海岸で5回計測を行い、その平均値を節理密度とした。

## V 調査結果

### V-1 侵食速度測定の結果（1/25000 地形図）

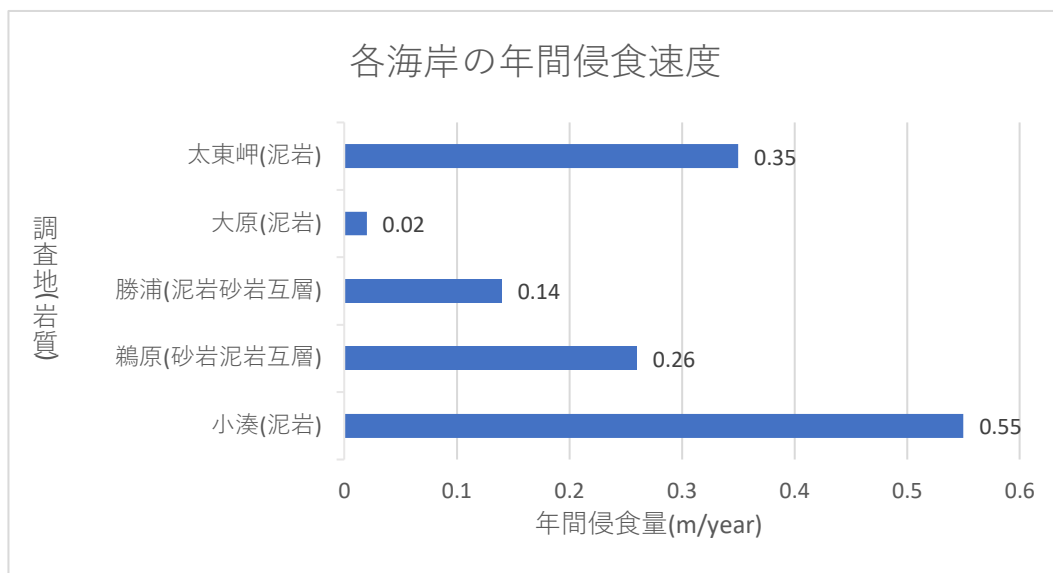


図 12 1/25000 地形図から測定した海食崖の年間侵食速度

5つの海岸ごとに1/25000地形図を使用してGISで侵食速度を求め、地質と年間侵食量について棒グラフを作成した(図12)。

グラフをみると、泥岩が分布する小湊が0.55m/yearとなり1番速い侵食速度となっている。それに対して、砂岩を含む勝浦、鵜原では侵食速度が0.14m/yearと0.26m/yearで遅くなっていることがわかる。しかし、大原も泥岩であるが砂岩泥岩互層よりも侵食速度が遅く5海岸の中で最も侵食速度が遅い0.02m/yearとなっている。したがって、大原を除くと泥岩の太東岬と小湊が泥岩と砂岩の互層よりも侵食速度が速くなっていることが読み取れる。

## (1) 太東岬の侵食速度結果



図 13 太東岬の調査地点

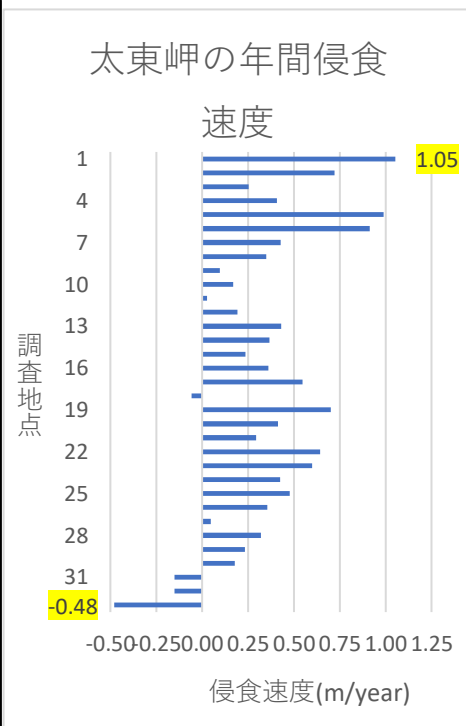


図 14 太東岬における調査地点ごとの侵食速度

太東岬の侵食速度において、計測した 33 地点ごとに侵食速度を棒グラフにまとめた図を作成した（図 14）。この図をみると太東岬の侵食速度は、地点ごとに侵食量に差があることがわかる。侵食速度の最高地点は、地点 1 の  $1.05\text{m/year}$  となっている。一方で、侵食速度の最も遅い地点は地点 33 の  $-0.48\text{m/year}$  となっており、地点 1 と比べると  $1.53\text{m/year}$  の差がある。侵食速度が最速となった地点 1 は、太東岬の北部に位置し海食崖が最も陸側に凹んでいる地点となっている（図 13）。さらに、全体を通してみると北部から南部にいくにつれて侵食速度が遅くなる傾向がみられ、太東岬の地形と見比べると北から南下するにつれて海側に突き出た地形となっていることがわかる。したがって、地形が陸側に凹んでいるほど侵食が進み侵食速度も速くなっている。しかし、調査地点の内 4 地点ではマイナスの値がみられる結果となった。

## (2) 大原の侵食速度結果

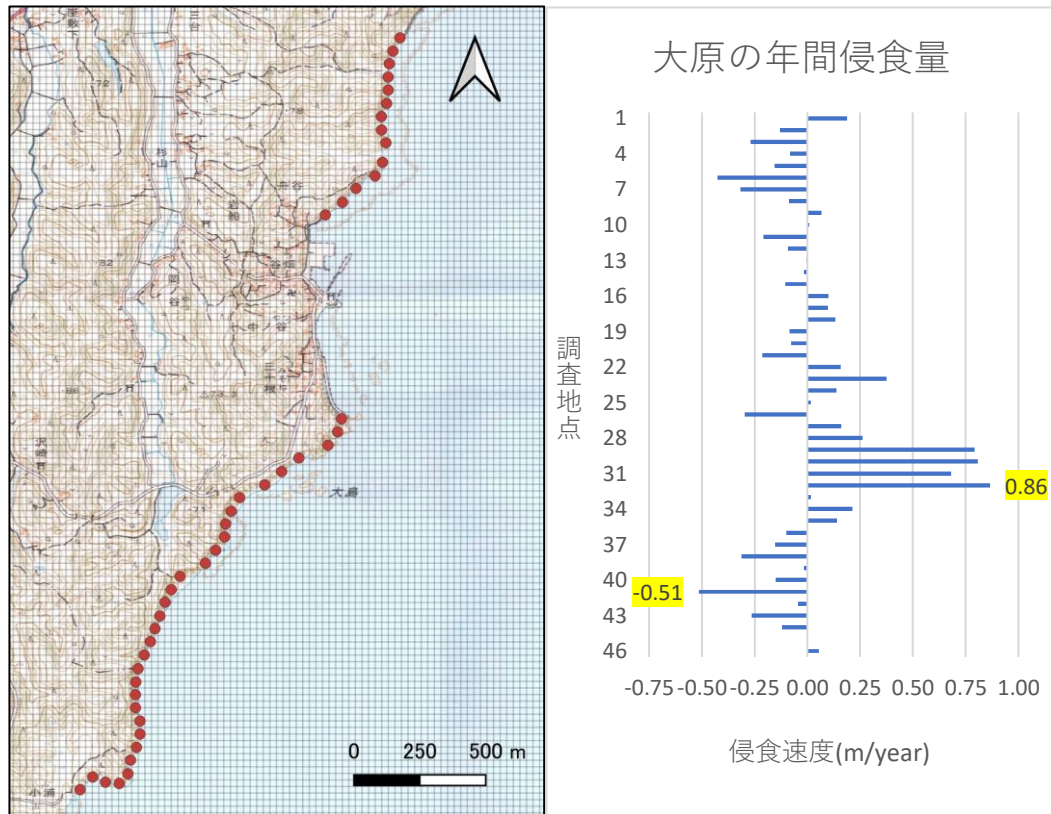


図 15 大原の調査地点

図 16 大原における調査地点  
ごとの侵食速度

大原において、侵食速度を調べた 46 地点ごとに侵食速度を棒グラフにまとめた図を作成した (図 16)。この図からは、大原では 46 地点中 26 地点がマイナスの数値で表示されていることが読み取れる。大原の侵食速度を全体を通してみると、北部と南部においてマイナスの値が多く分布しており、中央部付近の地点 27~35 において侵食速度が速い地点が多くみられる (図 15)。侵食速度の最も速い地点は、地点 32 の  $0.86\text{m/year}$  となっている。一方で、侵食速度の最も遅い地点は地点 41 の  $-0.51\text{m/year}$  となっており、地点 32 と比べると  $1.37\text{m/year}$  侵食速度に差があることがわかる。

## (3) 勝浦の侵食速度結果



図 17 勝浦の調査地点

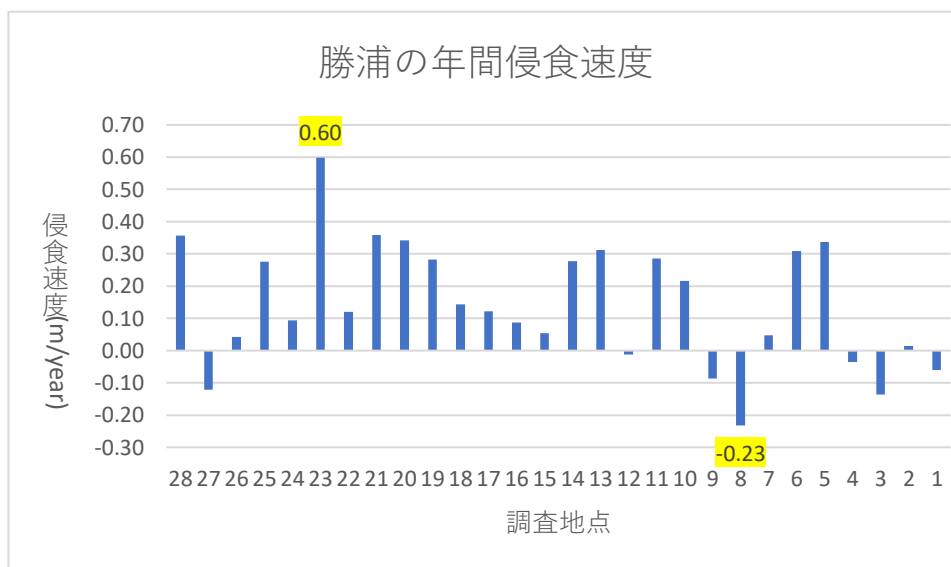


図 18 勝浦における調査地点ごとの侵食速度

勝浦において、侵食速度を調べた 28 地点ごとに侵食速度を棒グラフにまとめた図を作成した (図 18)。この図からは、勝浦の東側と比べると西側の方が数値が高くなっており、侵食速度が速いことが読み取れる。この結果を地形図と見比べてみると、海側に突き出した形の地形の方が陸側に凹んだ地形よりも侵食速度が速くなる傾向

がある（図 17）。侵食速度の最も速い地点は、地点 23 の  $0.60\text{m/year}$  となっている。一方で、侵食速度の最も遅い地点は地点 8 の  $-0.23\text{m/year}$  となっており、地点 23 と比べると  $0.83\text{m/year}$  侵食速度に差があることがわかる。侵食速度の最も速い地点 23 は、勝浦の西側に位置する海に突き出た半島のような場所の先端付近に位置している。この地点は、すぐ南側に突出した岩崖があり最旧版地形図では海食崖の一部として記載されていたことから、侵食によって削られてできたものと考えられる。一方で、侵食速度が最も遅い地点 8 では、勝浦の西側の入り組んだ地形に位置している。

#### （4）鵜原の侵食速度結果

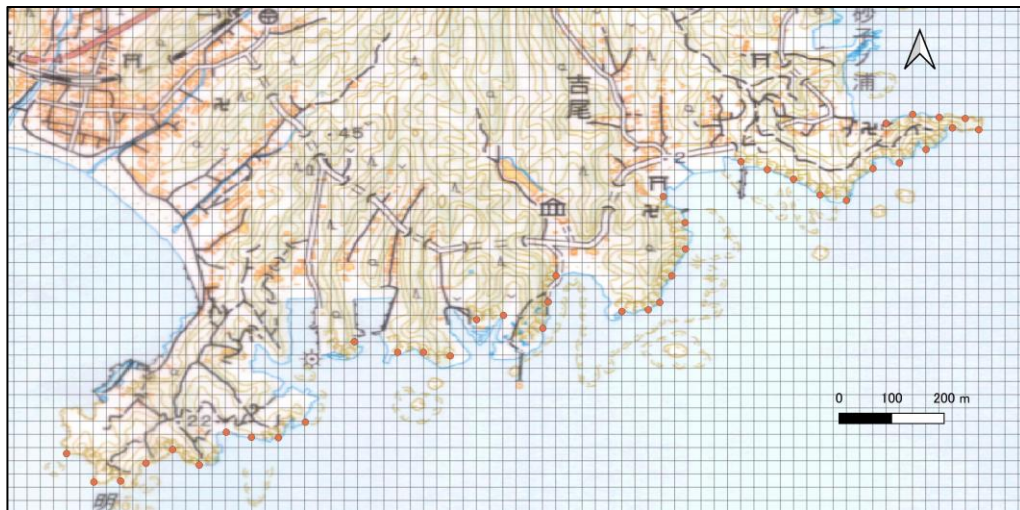


図 19 鵜原の調査地点

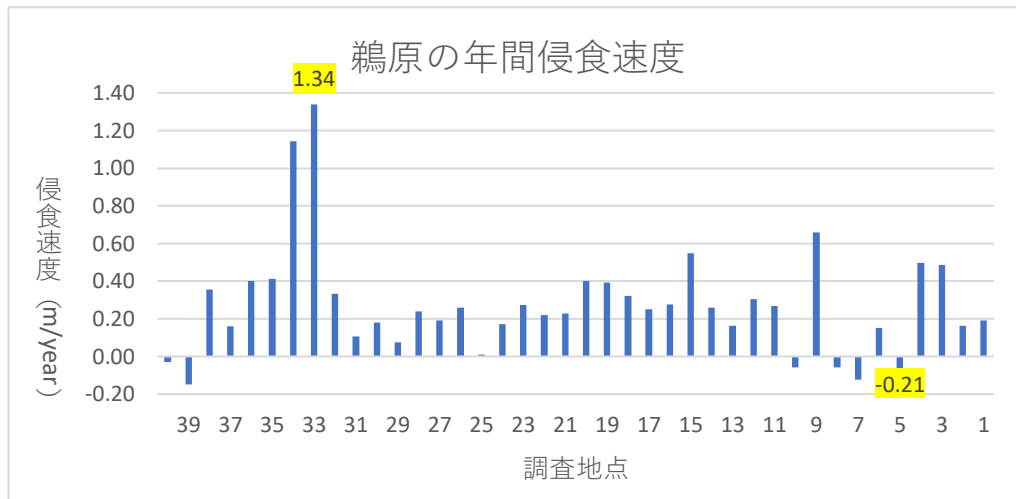


図 20 鵜原における調査地点ごとの侵食速度

鵜原において、侵食速度を調べた 40 地点ごとに侵食速度を棒グラフにまとめた図を作成した (図 20)。この図をみると、地点 33、34 のみ  $1\text{m/year}$  以上となっており突出して侵食速度が速くなっているが、他の地点では  $0.70\text{m/year}$  以下となっている。鵜原の各地点において最も侵食速度の速い地点は、地点 33 の  $1.34\text{m/year}$  となっている。対して、侵食速度の最も遅い地点は地点 5 の  $-0.21\text{m/year}$  となっており、地点 33 と比べると  $1.55\text{m/year}$  侵食速度に差があることがわかる。侵食速度の最も速い地点 33 は、鵜原の西側の突出した場所付近に位置している (図 19)。一方で、侵食速度の最も遅い地点 5 は、今回の鵜原での調査地点の中で最東端に位置している。また、侵食速度の速い値が多く分布する場所に注目すると鵜原の東側よりも西側の方が侵食速度が高い地点が多くなっていることがわかる。この結果を地形図と見比べると、西側から東側に行くにつれて海側へ突出した地形となっていることがわかり、突出した地形は侵食速度が速い値となり、凹んだ地形は侵食速度が遅い値になる傾向がある。

## (5) 小湊の侵食速度結果

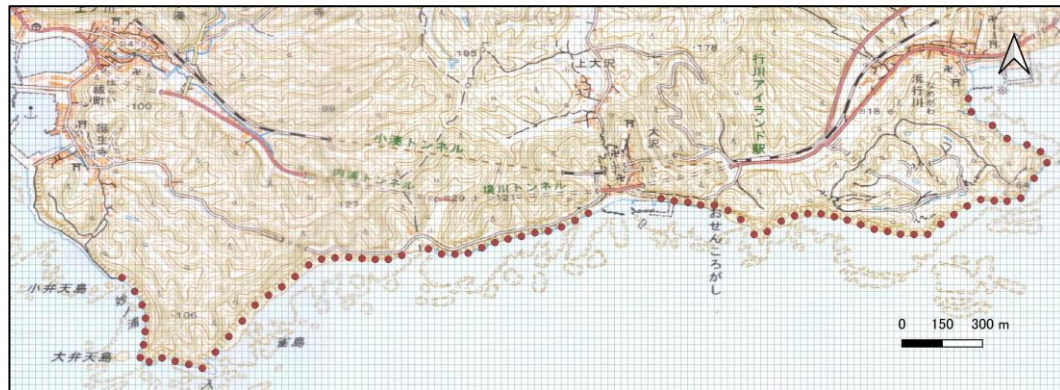


図 21 小湊の調査地点

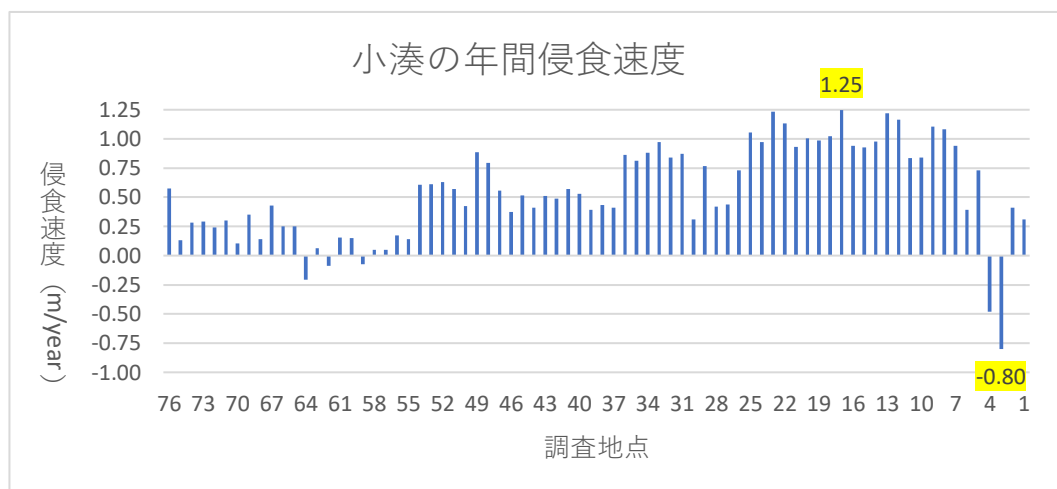


図 22 小湊における調査地点ごとの侵食速度

小湊において侵食速度を調べた 76 地点ごとに侵食速度を棒グラフにまとめた図を作成した (図 22)。この図からは、地点ごとに侵食速度に大きな差があることがわかる。小湊の地点ごとの侵食速度において最も侵食速度の速い地点は、地点 17 の  $1.25\text{m/year}$  となっている。対して、最も侵食速度の遅い地点は、地点 3 の  $-0.80\text{m/year}$  となっており、地点 17 と比べると  $2.05\text{m/year}$  侵食速度の差があることがわかる。これは、 $1/25000$  地形図において最も侵食速度に差がある海岸となっている。侵食速度の最も速い地点 17 は、小湊の東側の中央部付近に位置しており、侵食速度の

最も遅い地点3は、小湊の東側の東向きの海食崖が分布する場所に位置している（図21）。小湊の侵食速度について全体を通してみると、東側の方が西側に比べて侵食速度が速い値が多い傾向にあることがわかる。この結果を地形図と比べてみると、西側の海へ突出した地形では侵食速度が遅い地点が多くなり、東側の海食崖が陸側に近い地形では、侵食速度が速くなっている。したがって、地形の凹凸の違いによって侵食速度が異なる結果となる。

#### V-2 侵食速度測定の結果（1/50000 地形図）

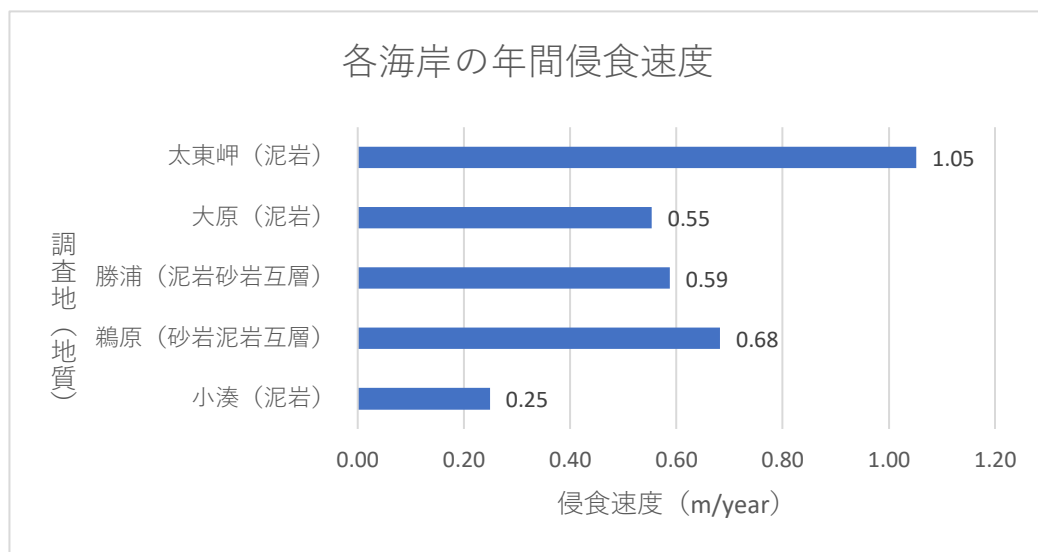


図23 1/50000 地形図から測定した海食崖の年間侵食速度

5つの海岸ごとに、1/50000 地形図を使用して GIS で侵食速度を求め、地質と年間侵食量について棒グラフを作成した（図23）。この図をみると、泥岩の太東岬が1番侵食速度が速い値である1.05m/year となっているが、同じ泥岩の小湊では1番侵食速度が遅い値である0.25m/year となっている。また、大原も小湊と同様に泥岩と砂岩の互層である勝浦と鵜原よりも侵食速度が遅くなっていることから地質の違いによる侵食速度の違いはみられなかった。しかし、太東岬を除く海岸で考えると泥岩の分布する海岸よりも砂岩と泥岩の互層の方が侵食速度が速くなっていることがわかる。

## (1) 太東岬の侵食速度結果

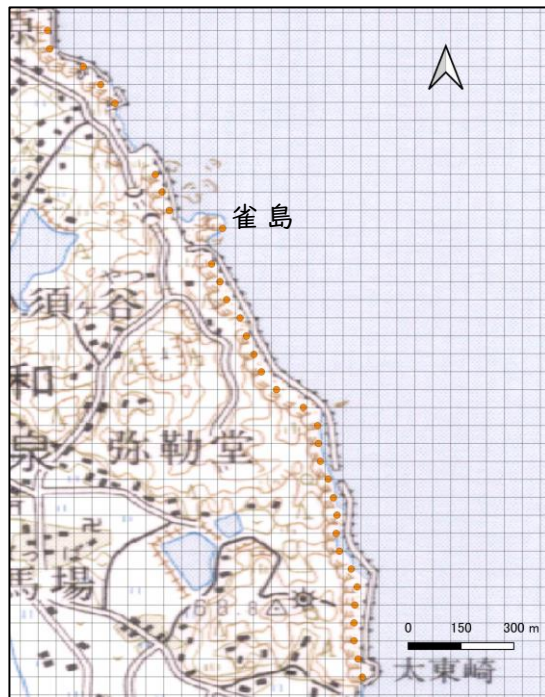


図 24 太東岬の調査地点

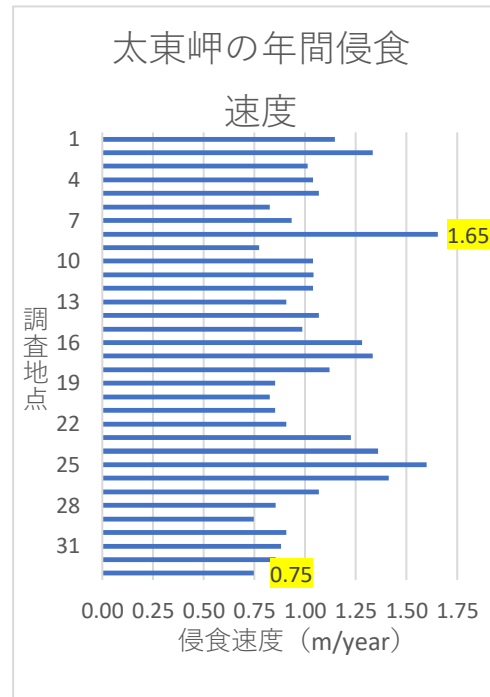


図 25 太東岬における調査地点ごとの侵食速度

太東岬において侵食速度を測定した 33 地点ごとに年間侵食速度をまとめた棒グラフを作成した (図 25)。この図からは、侵食速度の速い地点と遅い地点が交互に分布していることがわかる。したがって、太東岬全体でみると南部と北部に侵食速度の違いは見られず、南北に関係なく侵食速度が変化していると捉えられる。33 地点中 18 地点が  $1\text{m/year}$  以上の侵食速度となっており、全海岸で最も侵食速度が速くなっている。太東岬の地点ごとの侵食速度において最も侵食速度の遅い地点は、地点 33 の  $0.75\text{m/year}$  となっている。対して、最も侵食速度の速い地点は、地点 8 の  $1.65\text{m/year}$  となっており、地点 33 と比べると  $0.90\text{m/year}$  侵食速度の差があることがわかる。地点 8 において侵食速度が最速となったのは、地点 8 のすぐ南方向に雀島と呼ばれる干潮時には砂浜で陸と繋がる陸繋島が存在しているためであると考えられる (図 24)。この雀島

は、太東岬の 1/50000 最旧版地形図の 1906 年には太東岬の海食崖の一部であったことから侵食作用によって陸と切り離され、現在の陸繋島の形になったと考えられる。したがって、かつての海岸線よりも凹んだ形の地形となり侵食速度が速い値となった。

1/25000 地形図での測定結果と比べてみると、マイナスの値がみられたが、今回の結果ではみられず 1 番低い値でも 0.75m/year であった。また、1/25000 では南部にいくにつれて浸食速度が遅くなる傾向がみられたが、今回の結果ではみられず南部でも 1m/year 以上の侵食速度となる地点が 5 地点みられた。

## (2) 大原の侵食速度結果



図 26 大原の調査地点

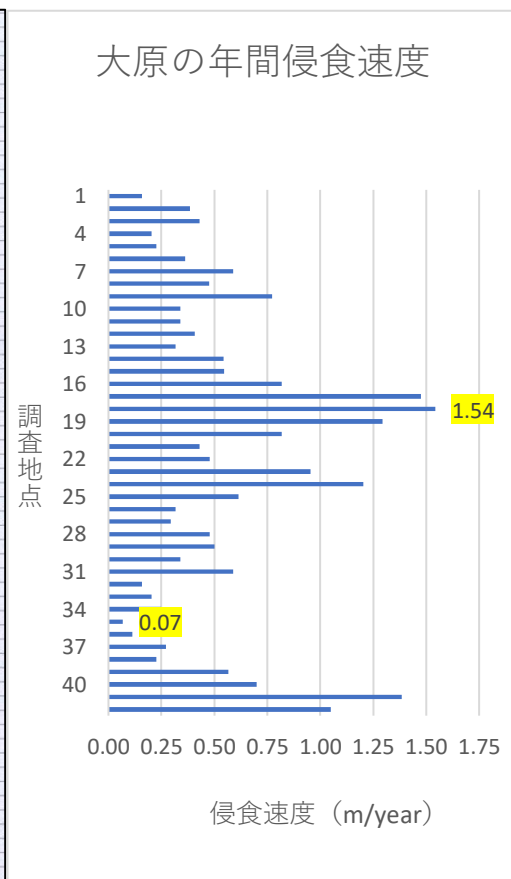


図 27 大原における調査地点ごとの侵食速度

大原において侵食速度を測定した 42 地点ごとに年間侵食速度をまとめた棒グラフを作成した（図 27）。今回も 1/25000 地形図の時と同様に大原中央部に位置する三十根付近では漁港と防波堤が存在しているが、崖の侵食速度に公平を期すためこの付近を除外して侵食速度の測定を行った。この図からは、中央部と南部において侵食速度の速い地点が多い傾向にあることがわかる。大原の地点ごとの侵食速度において最も侵食速度の遅い地点は、地点 35 の 0.07m/年となっている。対して、最も侵食速度の速い地点は、地点 18 の 1.54m/年となっており、地点 35 と比べると 1.47m/年侵食速度の差があることがわかる。侵食速度が最速であった地点 18 では、大原中央部の三十根付近で海に向かって少し突き出た地形をしている場所の南部に位置している（図 26）。この場所は、地形図からもわかるように小さな島と波食棚が点在しており、かつて海食崖であった場所が侵食作用によりこのような地形になったと考えられる。したがって、かつての海岸線よりも凹んだ形の地形となったため侵食速度が速い値となった。また、大原の南部でも侵食速度が速くなる傾向がみられる。この場所は、小浦海岸の北部に位置しており大原の海食崖において唯一南向きに位置する崖となっている。そのため、この付近の大陸は東側と南側を海で囲まれていることになりそこから波食が進むことで、侵食速度が速い値が多くなったと考えられる。

1/25000 地形図と比べると、46 地点中 26 地点がマイナスの値であったのに対して、マイナスの値が 1 つも無くなっていることがわかる。さらに全体を通してみても、1/25000 地形図よりも大幅に侵食速度が速くなった地点が多くみられる。また、大原の侵食速度の結果からは、1/25000 地形図と 1/50000 地形図では、大きく異なる結果となることがわかった。

## (3) 勝浦の侵食速度結果



図 28 勝浦の調査地点

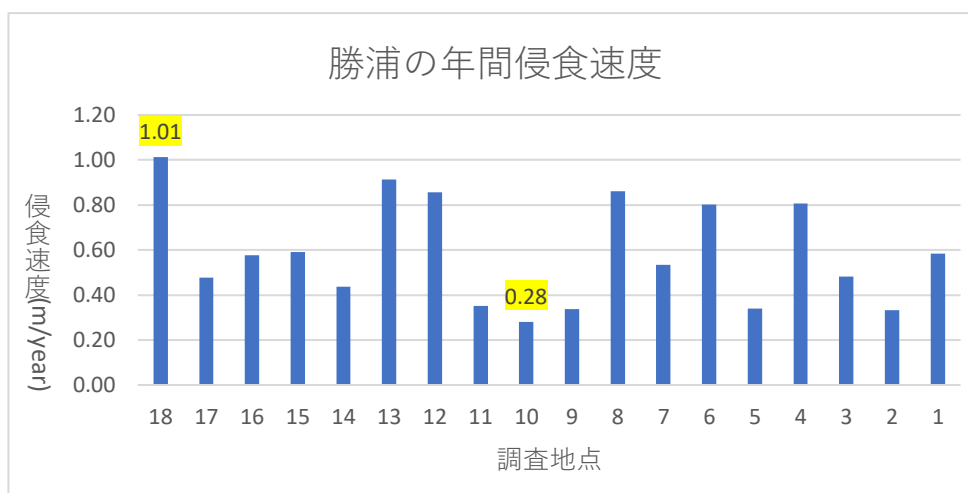


図 29 勝浦における調査地点ごとの侵食速度

勝浦において侵食速度を測定した 18 地点ごとに年間侵食速度をまとめた棒グラフを作成した (図 29)。この図からは、侵食速度の速い地点と遅い地点が交互に位置していることがわかる。地形図と棒グラフの形を見比べてみると、海食崖の凹んでいる場所では侵食速度が速くなる傾向がみられ、海食崖の突出している場所では侵食速度が遅くなる傾向がみられる (図 28)。したがって、海食崖の地形に応じて侵食速度が変化していると考えられる。勝浦の地点ごと

の侵食速度において最も侵食速度の遅い地点は、地点 10 の  $0.28\text{m/year}$  となっている。対して、最も侵食速度の速い地点は、地点 18 の  $1.01\text{m/year}$  となっており、地点 10 と比べると  $0.73\text{m/year}$  侵食速度の差があることがわかる。侵食速度が最速であった地点 18 では、半島のように突き出た地形の先端部分に位置しており、最旧版地形図と見比べると最新版地形図の方が侵食によって鋭利な形になっていることがわかる。またこの場所は、東西南方向を海に囲まれているため、波による侵食がされやすいと考えられる。一方で、最も侵食速度が遅い地点 10 では、勝浦の中央部に位置する勝浦燈台付近に位置している。この場所は、燈台の南側に波食棚が広範囲で存在しているため波の影響が抑えられて侵食速度が低くなっていると考えられる。

1/25000 地形図と比べると、マイナスの値であった地点が無くなり全てプラスの値になっていることがわかる。また、1/25000 地形図では西側にいくにつれて侵食速度が速くなる傾向がみられたが、今回の結果では東西方向で大きな違いはみられなかった。

#### (4) 鵜原の侵食速度結果

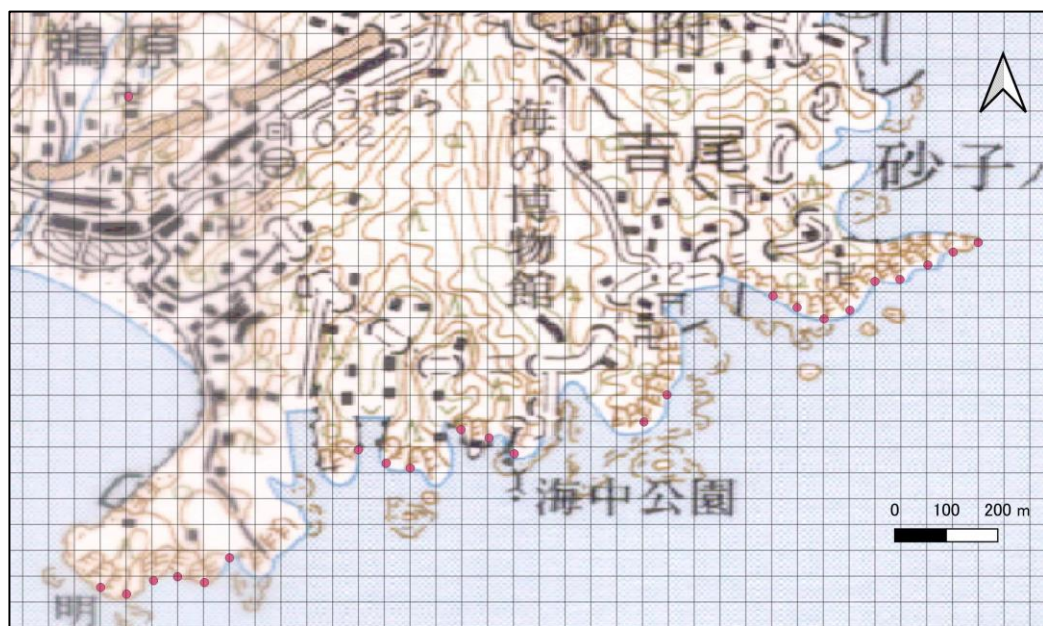


図 30 鵜原の調査地点

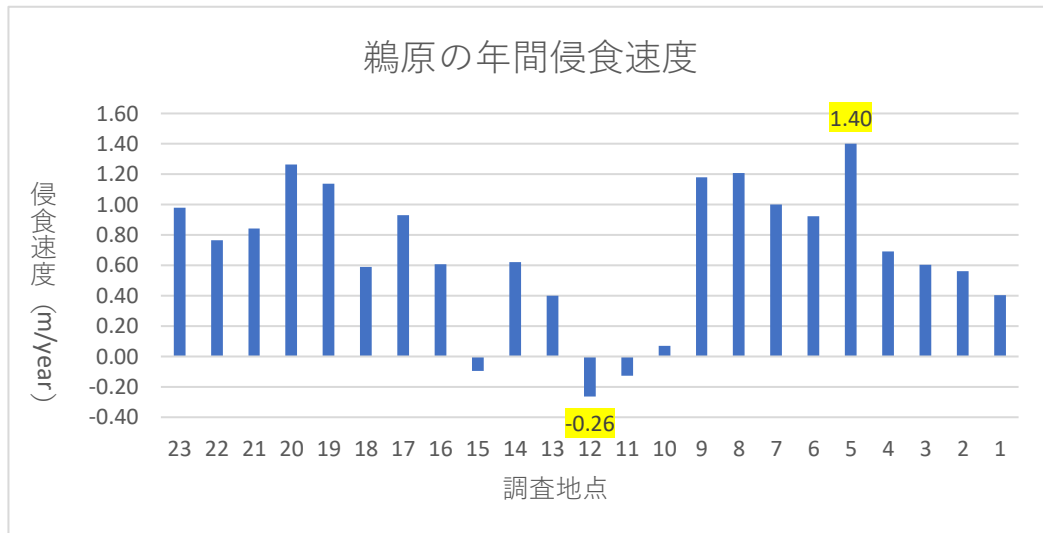


図 31 鵜原における調査地点ごとの侵食速度

鵜原において、侵食速度を測定した 23 地点ごとに年間侵食速度をまとめた棒グラフを作成した（図 31）。この図からは、鵜原の中央部付近において侵食速度がマイナスになっている地点が多くみられ、東西部では侵食速度が  $1\text{m/year}$  を超える値が多くみられるという傾向があることがわかる。また、鵜原の侵食速度を全体を通してみると東側のほうが西側よりも若干侵食速度が速い地点が多くなっている。1/50000 地形図と侵食速度の棒グラフを見比べると、海食崖が陸側に凹んでいる場所では侵食速度が速い地点が多くあり、海食崖が海側に突出している場所では侵食速度が遅い地点が多くある傾向にあることも読み取れる（図 30）。したがって、海岸線の形によって侵食速度が異なり、棒グラフで表した形と類似した形になる。鵜原の地点ごとの侵食速度において最も侵食速度の遅い地点は、地点 12 の  $-0.26\text{m/year}$  となっている。対して、最も侵食速度の速い地点は、地点 5 の  $1.40\text{m/year}$  となっており、地点 12 と比べると  $1.66\text{m/year}$  侵食速度の差があることがわかり各海岸の中で最も侵食速度に差があることになる。侵食速度が最速であった地点 5 では、鵜原の東側に位置する半島のような突出した場所の中央部にあり、侵食によって陸側に凹んだ場所となっている。さらに、北側

も海に面していることから南北で侵食が起きており降水による崩壊もしやすくなっていると考えられることから侵食速度が速くなっていると考えられる。一方で、侵食速度が最も遅い地点であった地点12では、鵜原の中央部付近にある勝浦海中公園に位置している。そのため、付近には海中展望塔や養殖施設跡といった人工物があり、その影響で波による侵食が妨げられて侵食速度が遅くなる結果となったと考えられる。

1/25000 地形図と比べると、侵食速度の速い値が西側に分布していたのに対し今回の結果では東側に同様の傾向がみられた。さらに、マイナスの値が東側に多く分布していたのに対し、1/50000 地形図では  $0.90\text{m/year}$  以上の侵食速度が多く分布している。また、1/25000 地形図ではプラスの値であった中央部付近にマイナスの値が多く分布している。したがって全体的にみると、1/25000 地形図とは逆の値になっている地点が多く確認できる。

#### (5) 小湊の侵食速度結果

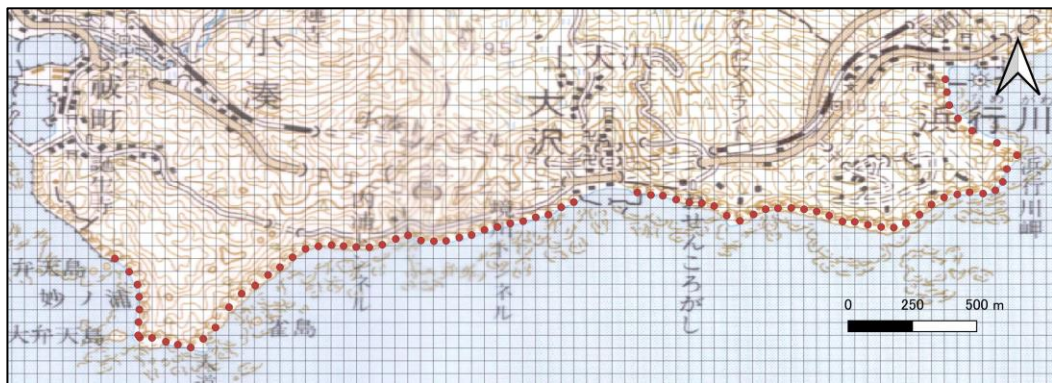


図 32 小湊の調査地点

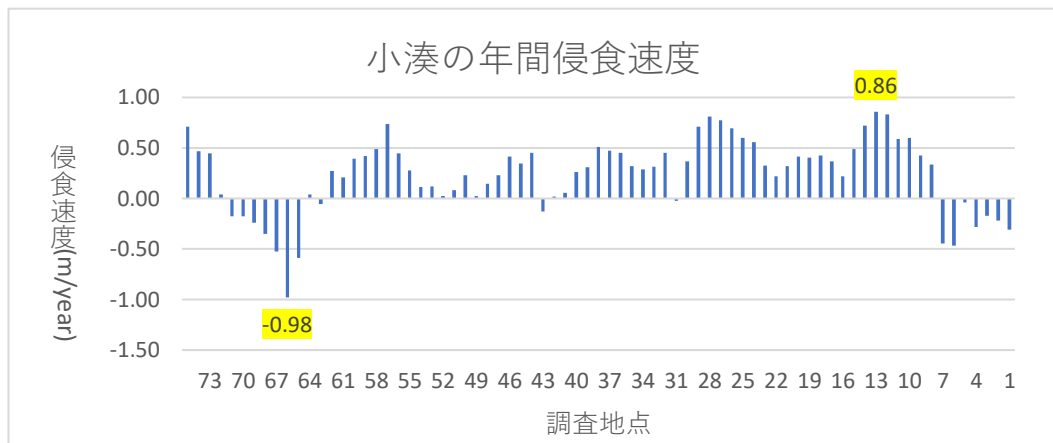


図 33 小湊における調査地点ごとの侵食速度

小湊において、侵食速度を測定した 75 地点ごとに年間侵食速度をまとめた棒グラフを作成した (図 33)。この図からは、値がマイナスとなっている地点が東側と西側に多く位置していることがわかる。また、小湊の侵食速度を全体を通してみると東側の方が西側よりも侵食速度が速い地点が多くなっている。小湊では、他の海岸と比べて侵食速度が  $1\text{m/year}$  以上となっている地点がなく、マイナスの値が 1 番多く分布している。小湊の地点ごとの侵食速度において最も侵食速度の遅い地点は、地点 66 の  $-0.98\text{m/year}$  となっており全海岸で最も値の低い海岸となっている。対して、最も侵食速度の速い地点は、地点 13 の  $0.86\text{m/year}$  となっており、地点 66 と比べると  $1.84\text{m/year}$  侵食速度の差があることがわかる。侵食速度が最速であった地点 13 では、小湊の東側の大陸側に凹んだ部分に位置している (図 32)。一方で、最も侵食速度の遅い地点 66 では小湊の西側の突出した地形付近に位置する。

$1/25000$  地形図と比べると、侵食速度が  $1\text{m/year}$  以上の地点が 9 地点あったのに対し、最速値でも  $0.86\text{m/year}$  となっている。一方で、 $1/25000$  地形図では東側と西側においてマイナスの値がみられたが、 $1/50000$  地形図でも同様にマイナスの値がみられた。また、地形が陸側に凹んでいる東側の方が西側よりも侵食速度が速い値が多い傾向にあることも同じ結果となった。

## V-3 硬度測定の結果

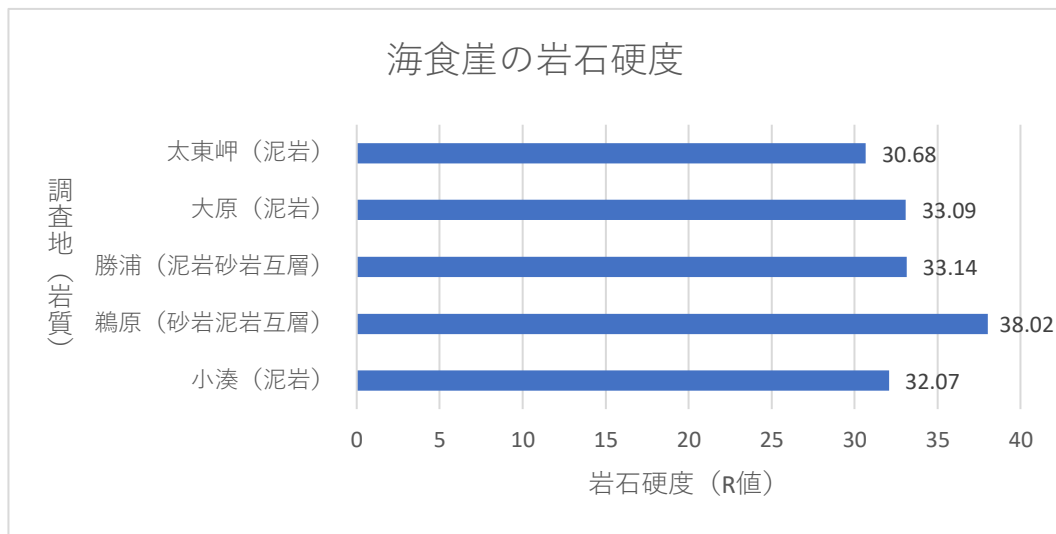


図 34 海食崖の海岸別岩石硬度

各海岸の岩石硬度について、地質と岩石硬度の結果を棒グラフにまとめた（図 34）。この図をみると砂岩泥岩互層の鵜原が 38.02 と 1 番高い値となっており、対して泥岩の太東岬が 30.68 と 1 番低い値となっている。したがって、泥岩よりも砂岩と泥岩を含む地質の方が岩石硬度が高いことがわかる。しかし、鵜原と太東岬の岩石硬度を比べると 7.34 の差となっており、海岸ごとの岩石硬度に大きな差はみられない。また、大原と勝浦においては 33.09 と 33.14 で差が 0.05 しかないため、大原の泥岩では泥岩砂岩互層よりも岩石硬度がわずかにしか低くなっていないことがわかる。

## (1) 太東岬の岩石硬度結果

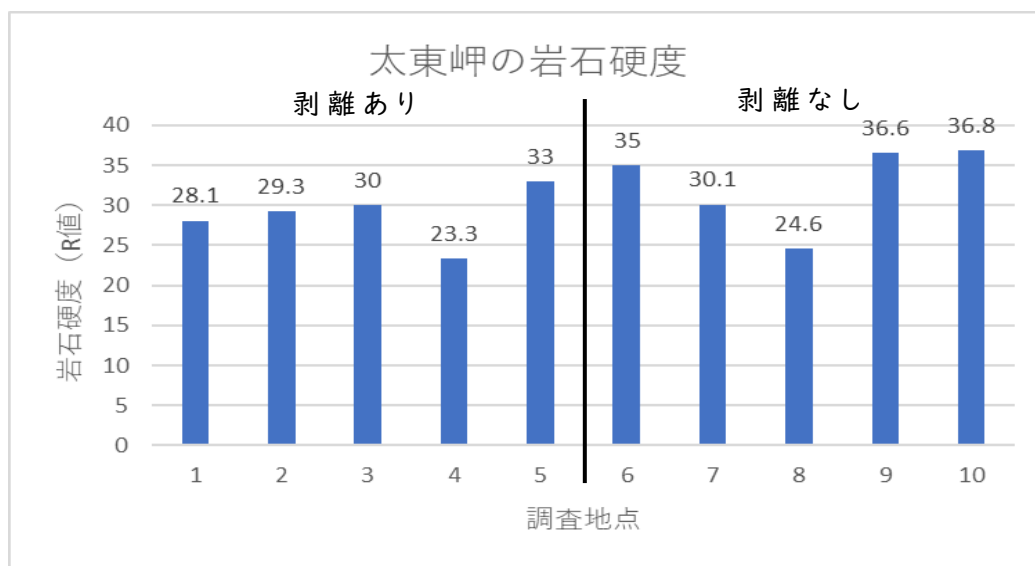


図 35 太東岬における調査地点ごとの岩石硬度

太東岬の岩石硬度では、表面に剥離のある転石と剥離のない転石の 2 種類で測定を行った（写真 6、7）。そのため、1~5 地点を剥離ありの岩石、6~10 地点を剥離なしの岩石に分けて棒グラフを作成した（図 35）。この図からは、剥離ありの転石は剥離なしの転石よりも硬度が低くなっていることが読み取れる。剥離ありでは、5 地点中 3 地点が R 値が 30 に達しておらず、剥離なしでは、5 地点中 3 地点が 35 以上となっている。



写真 6、7 太東岬でみられた転石（2023 年 8 月 25 日撮影）

## (2) 大原の岩石硬度結果

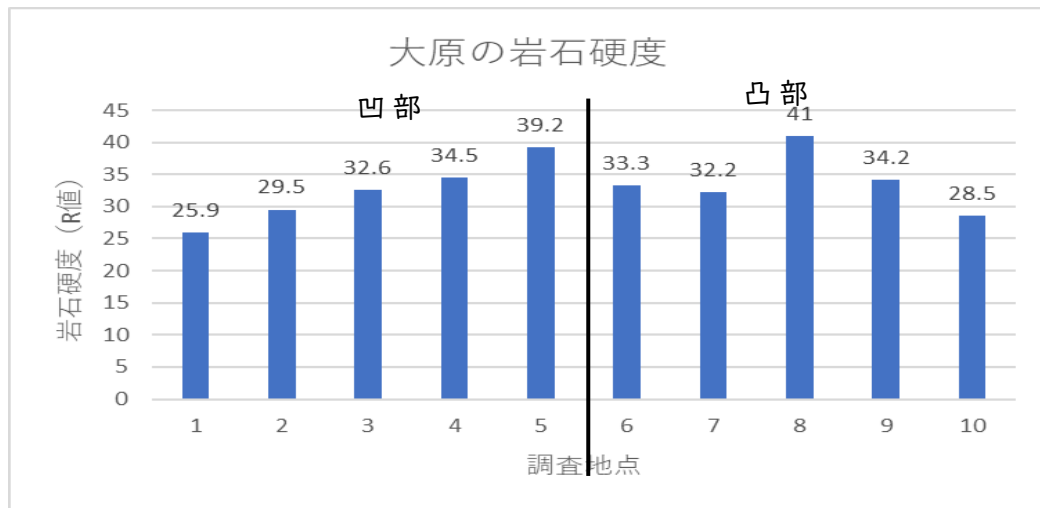


図 36 大原における調査地点ごとの岩石硬度

大原では、測定可能な転石がなかったため海食崖の凹部、凸部で岩石硬度を測定した。そのため、1~5地点を凹部、6~10地点を凸部に分けて棒グラフを作成した（図36）。この図をみると凹部では、2地点がR値が30に達しておらず、凸部では3地点が30に達している。したがって、凸部に比べて凹部の方が岩石硬度が低くなっていることがわかる。

## (3) 勝浦の岩石硬度結果

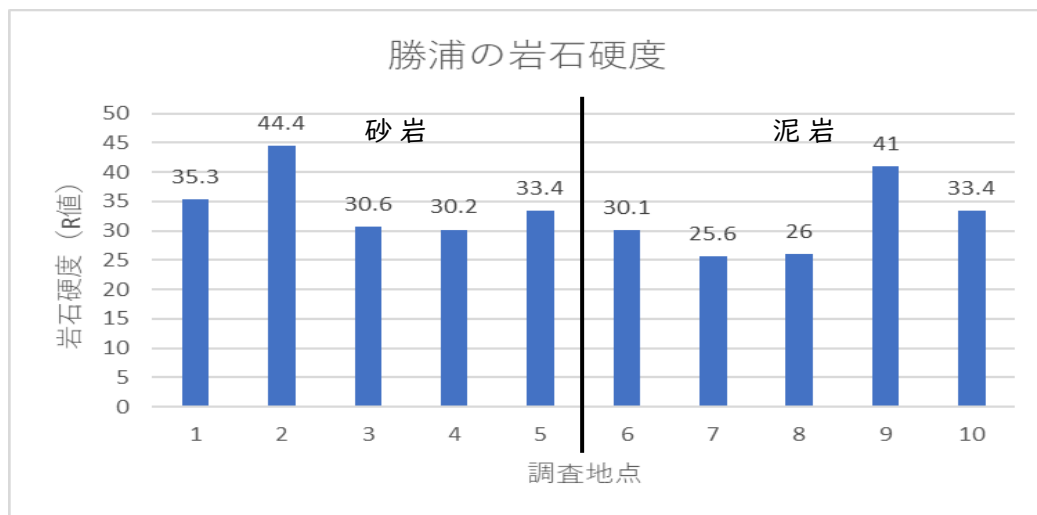


図 37 勝浦の岩石硬度

勝浦の岩石硬度では、砂岩泥岩互層の岩石が分布しているため砂岩と泥岩でそれぞれ測定を行った。そのため、1~5 地点を砂岩、6~10 地点を泥岩に分けて棒グラフを作成した（図 37）。この図をみると、砂岩と泥岩で大きな違いは見られないが、泥岩では 2 地点が 30 に達しておらず、砂岩では 4 地点が 30 に達している。したがって、泥岩よりも砂岩の方が岩石硬度が高くなっていることがわかる。

#### （4）鵜原の岩石硬度結果

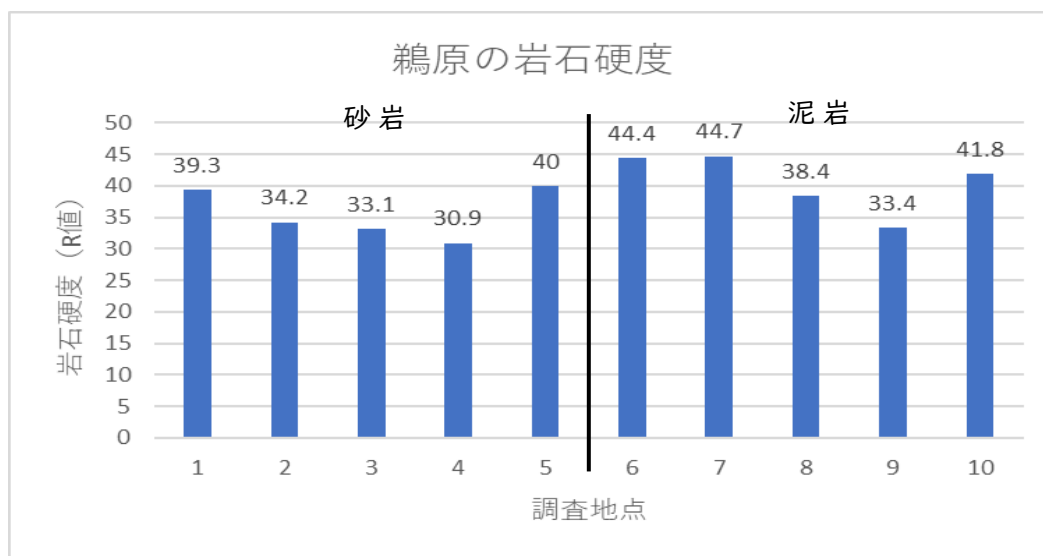


図 38 鵜原における調査地点ごとの岩石硬度

鵜原の岩石硬度では、泥岩砂岩互層の岩石が分布しているため砂岩と泥岩でそれぞれ測定を行った。そのため、1~5 地点を砂岩、6~10 地点を泥岩に分けて棒グラフを作成した（図 38）。この図をみると、砂岩の方が泥岩に比べて硬度が低くなっていることが読み取れる。砂岩では 4 地点が R 値 30 に達しており、泥岩では 3 地点が R 値 40 に達している。

## (5) 小湊の岩石硬度結果

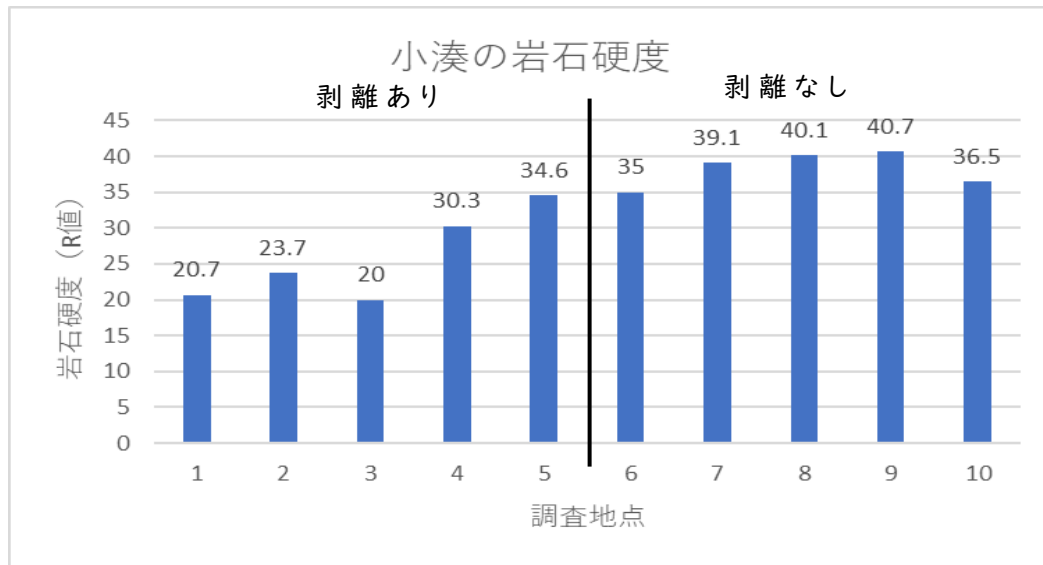


図 39 小湊における調査地点ごとの岩石硬度

小湊の岩石硬度では、表面に剥離がある転石と剥離のない転石の 2 種類で測定を行った（写真 8、9）。そのため、1~5 地点を剥離ありの岩石、6~10 地点を剥離なしの岩石に分けて棒グラフを作成した（図 39）。この図をみると太東岬と同様、剥離ありの転石の方が剥離なしの転石に比べて硬度が低いことが読み取れる。剥離ありでは 3 地が R 値が 30 に達していないが、剥離なしでは 30 に達していない地点はなく、2 地点が 40 に達している。



写真 8、9 小湊でみられた転石（2023 年 8 月 24 日撮影）

## V-4 節理密度測定の結果

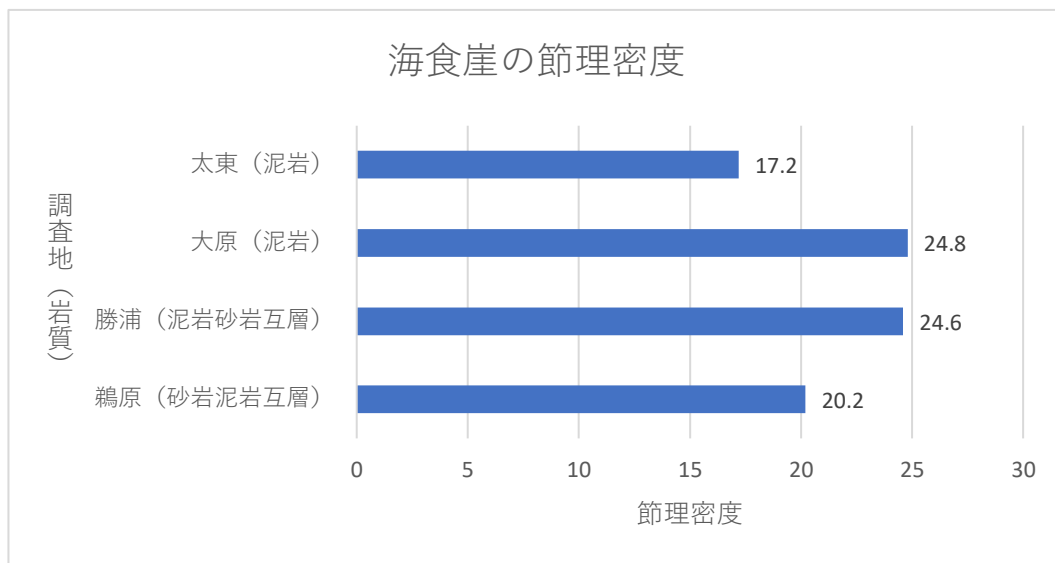
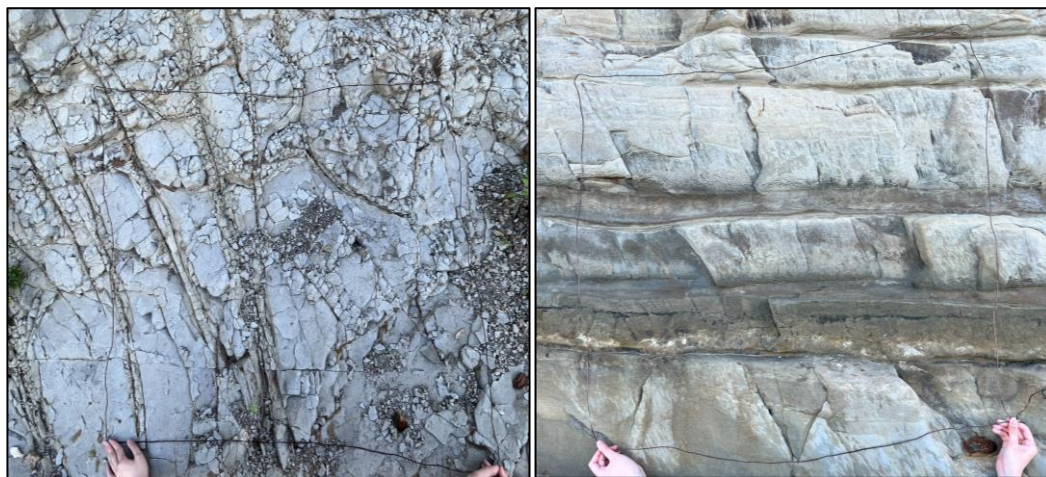


図 40 海食崖の海岸別節理密度

写真 10 小湊でみられた節理  
(2023年8月24日撮影)写真 11 大原でみられた節理  
(2023年8月25日撮影)

節理密度を4海岸で調査した。小湊では、調査できる全ての範囲で表面が剥離していたため、正確な節理密度を測定することができなかった(写真10)。他の海岸では、表面が剥離した場所と剥離していない場所があったためより正確に節理密度を測定するために、

節理を目視で認識できる場所で測定を行った。

調査地の地質と節理密度の結果を棒グラフにまとめた(図40)。この図をみると、泥岩の太東岬が節理密度が1番低くなっており、砂岩泥岩互層の勝浦、鶴原の方が節理密度が高くなっていることがわかる。しかし、泥岩では砂岩泥岩互層の海食崖では見られなかった剥離が崖の表面にみられた。したがって、正確な数字で示すことができなかったが表面の剥離を崖の節理と捉えると泥岩の海食崖の方が節理密度が高いといえる。また、節理の方向としては、泥岩では真北の縦方向に節理が多く分布しており、砂岩泥岩互層では東西方向の横方向に節理が多く分布していた(写真10、11)。

## VI 考察

### VI-1 各海岸の侵食速度

千葉県夷隅地域の海食崖において、1/25000 地形図と1/50000 地形図を用いて地質ごとに侵食速度を測定した。海食崖の堆積した年代に着目すると、小湊と鶴原は、約2300万~530万年前の新第三紀中新世に堆積したとされる三浦層群に位置する（日本地質学会,国際年代層序表）。対して、勝浦、大原、太東岬では、約530万~260万年前の新第三紀鮮新世に堆積したとされる上総層群に位置する。1/25000 地形図では、泥岩と砂岩と泥岩の互層両方の岩石において地質年代の古い方が侵食速度が速い結果となった。しかし、1/50000 地形図では砂岩と泥岩の互層は鶴原の方が侵食速度が速い結果となったが、泥岩では太東岬の方が侵食速度が速い結果となった。以上のことから、1/25000 地形図では堆積した年代が古い方が長年の侵食によって抵抗力が減少し侵食速度が速くなり、1/50000 地形図では太東岬でのみ同様の結果となると考えられる。

次に、地質の違いに着目すると1/25000 地形図では泥岩の方が侵食速度が速い結果となり、1/50000 地形図では砂岩と泥岩の互層の方が侵食速度が速い結果となった。佐々木ほか(1995)では、砂岩泥岩互層の方が侵食速度が速い結果となっていたため、本研究の1/50000 地形図の測定結果が同様の結果となった。今回の研究で2種類の地形図で異なる結果となってしまった要因としては、それぞれの地形図の最新版と最旧版の比較期間や年代に違いがあったことがあげられる。1/50000 地形図では、1/25000 地形図よりも古い年代の地形図が発行されており約2倍長い期間での比較が可能であった。したがって、短期間の測定では泥岩の方が侵食速度が速くなり、長期間の測定では砂岩泥岩互層の方が侵食速度が速くなる測定結果となったと推測する。

次に、地形タイプの違いから侵食速度を比較すると、太東岬では1/25000 地形図と1/50000 地形図の両方の地形図において他

の海岸よりも侵食速度が速くなっていた。太東岬では、Type A の地形が分布しており、砂村（1985）によると 3 タイプの中で最も侵食に対する抵抗力が低い地形となっている。したがって、Type B の他の海岸よりも波による侵食を受けやすく侵食速度が速い結果となったと考えられる。

小湊以外の 4 海岸で 1/50000 地形図の方が 1/25000 地形図よりも約 2 倍侵食速度が速いという結果となった。まず、太東岬の侵食速度が速くなった要因として考えられるのは、防波堤の設置があげられる。防波堤が設置されたのは、1960 年代からとなっており 1/50000 最旧版地形図の 1906 年では設置されていないことから約 60 年間の侵食速度が速くなり、全体の侵食速度も速くなる結果となったと考えられる（県土整備部 河川整備課 海岸砂防室, 九十九里侵食対策計画）。対して、小湊においてのみ侵食速度が約 1/2 倍遅くなる結果となった。この結果の原因としては、1923 年に起きた大正関東地震による隆起が一つの原因ではないかと考える。この地震の影響で小湊では、約 0.6~0.4m の隆起が起こったとされている（茅根・吉川, 1986）。したがって、本研究では 1906 年に発行された地形図を使用したため、地震の影響によって海食崖が隆起し侵食作用にも変化があったことで侵食速度が遅くなる結果となったと考えられる。

1/25000 と 1/50000 地形図両方の測定結果においてマイナスの値になった地点が多くみられた。原因として考えられることの 1 つ目は、地形図上に表記されている崖の地図記号などが変化したことがあげられる。地形図は、1964 年から本格的な整備が始められ平板測量から写真測量へと測量方法が変わり、その後も 1/25000 地形図では 1981 年と 2002 年に作業方法の変更などが行われた（斎藤・松岡, 2009, 根本ほか, 2014）。したがって、地形図の表記方法が変化したことでマイナスの値となってしまったと考察する。2 つ目は、侵食速度を計測する際に紙の地形図をスキャンする工程で歪みが生じてしまったことがあげられる。したがって、歪みが生

じたことで測定結果に誤差が生まれマイナスの値となってしまったと考察する。

## VI-2 各海岸の岩石硬度

岩質の違いにより岩石の硬度がどのように異なるのかを調べるために、シュミットハンマーによる硬度測定を行った。その結果、泥岩を主成分とする海食崖の方が砂岩と泥岩の互層よりも岩石硬度が低いことが分かった。砂岩と泥岩の互層が分布する勝浦と鶴原において岩種別に計測したところ、砂岩の方が泥岩よりも岩石硬度が高かったため、このような結果になったと考えられる。また、泥岩の表面に剥離がみられたことから砂岩よりも乾燥や湿潤といった気候の変化に影響を受けやすいため、泥岩の方が侵食されやすくなると考えられる。

現地調査をした海岸では砂岩と泥岩の互層では、前浜が存在していたが泥岩では、前浜はなく転石が多い礫浜となっている特徴がみられた。要因としては、砂岩よりも泥岩の方が粒子が細かいため、落石後に前浜として海食崖の前方に留まらず波によって沖合に流出し、砂岩は落石後に波によって粉碎され海食崖の前方に前浜として堆積すると考えられる。

今回行った5海岸での研究において、平均岩石硬度が最高値と最低値で約8%の差となりそれほど大きな差が出なかった。太東岬、小湊では転石で計測し、他の海岸では崖で計測を行った。転石で計測を行う際、シュミットハンマーの向きは対象物に対して垂直になるように真上から力かける方向になる。しかし、崖で計測する際は、崖に対して垂直になるようにシュミットハンマーを水平にして力かける。したがって、真上から力かけた転石よりも崖の方が値が低く出てしまい、泥岩と砂岩泥岩互層で大きな差がみられなかったと考えられる。また、侵食速度の調査範囲の一部の海岸でしか岩石硬度を測定できなかったため、侵食速度に応じた岩石硬度の結果があまり得られなかったことも要因の1つと考えられる。

### VI-3 各海岸の節理密度

地質ごとに節理密度の違いを調べるために針金を使った計測を行ったが、小湊と太東岬において崖の表面に剥離がみられたため正確な数字での計測を行うことができなかった。したがって、海食崖での節理密度測定においては、泥岩では表面が剥離している可能性があるため、表面を研磨してから測定するとより正確な値になると考えられる。

### VI-4 岩石硬度・節理密度と侵食速度の関係

各海岸の岩石硬度と侵食速度の結果から、1/25000 地形図では泥岩の方が侵食速度が速く岩石硬度が低くなっており、砂岩泥岩互層の方が侵食速度が遅く岩石硬度が高い値になっていることがわかった。したがって、侵食速度が速い岩石の方が岩石硬度が低く侵食速度が遅い岩石の方が岩石硬度が高くなっている。これは、岩石の硬度が高いほど侵食の原因である波や風に対する抵抗力が高くなるためであると考えられる。対して、1/50000 では太東岬では同様の結果となったが、他の海岸において砂岩泥岩互層の方が侵食速度が速かったため岩石硬度とは関係のない結果となった。

次に各海岸の節理密度と侵食速度の結果から、数値のみを考えると 1/50000 地形図の侵食速度では砂岩泥岩互層の方が侵食速度が速くなっていたため節理密度が高い方が侵食速度が速くなることがわかった。しかし、泥岩の海岸では計測が不可能であった剥離が表面にみられた。したがって、泥岩の方が節理密度が高いと判断すると 1/25000 地形図の方が泥岩の侵食速度が速くなっており節理密度と比例すると考えられる。

## 参考文献

- 日本地誌研究所 1967. 『日本地誌 第8巻 神奈川県・千葉県』  
二宮書店.
- 山口恵一郎・佐藤侑・沢田清・清水靖夫・中島義一 1972. 『日本  
図誌大系 関東Ⅱ』朝倉書店.
- 日本の地質『関東地方』編集委員会 1986. 『日本の地質3 関東  
地方』共立出版.
- 小池一之 1997. 『海岸とつきあう』岩波書店.
- 三梨昂・須田芳郎 1980. 20万分の1地質図幅『大多喜』地質調  
査所.
- 日本地質学会 2023. 『国際年代層序表』国際層序委員会.
- 県土整備部 河川整備課 海岸砂防室 2020. 『九十九里侵食対策計  
画』千葉県.
- 佐々木康子・安原一哉・宮崎数札・村上哲 1995. 茨城県北部海岸  
における海食崖侵食特性. 海岸工学論文集, 42, pp.541-545.
- 辻本英和 1985. 千葉県東部海岸の波食地形と構成岩石の物理・力  
学的性質. 地理学評論, 58-3, pp.180-192.
- 堀川清司・砂村継夫 1967. 航空写真による海蝕崖の後退に関する  
研究. 第14回海岸工学講演論文集, pp.315-324.
- 堀川清司・砂村継夫 1969. 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について—  
航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第2報—. 第16回  
海岸工学講演論文集, pp.137-145.
- 堀川清司・砂村継夫 1970. 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について  
(2) —航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第3報—.  
第17回海岸工学講演論文集, pp.289-296.
- 山内秀夫 1964. 原町市大甕海岸における海蝕崖の後退について.  
地理学評論, 37-3, pp.138-146.
- 宇多高明・山本幸次・砂村継夫・前原隆生 1990. 茨城県, 五浦海  
岸(岩石海岸)の地形学的特徴について. 海岸工学論文集, 37, pp.364-368.

- 孫小淳・青木久 2021. 海岸線の屈曲度と岩石強度との関係—房総半島と三浦半島の事例—. 学芸地理, 77, pp.139-150.
- 砂村継夫 1975. 波による岩石海岸の地形変化—最近の研究とその問題点—. 48-6, pp.395-411.
- 宍倉正展・宮内崇裕 2001. 房総半島沿岸における完新世低地の形成とサイスマテクトニクス. 第四紀研究, 40-3, pp.235-242.
- 茅根創・吉川虎雄 1986. 房総半島南東岸における現成・離水浸食海岸地形の比較研究. 地理学評論, 59-1, pp.18-36.
- 松倉公憲・青木久 2004. シュミットハンマー：地形学における使用例と使用法にまつわる諸問題. 地形, 25-2, pp.175-196.
- 斎藤仁・松岡史晃 2009. 電子国土基本図（地図情報）を基にした地形図の作成. 国土地理院時報, No118, pp.95-100.
- 根本正美・下山泰志・関崎賢一・石山信郎・小室勝也・木村幹夫・中野正広・塚崎靖久 2014. 国土全域における2万5千分1地形図の整備・刊行とその経緯. 国土地理院時報, No126, pp.97-113.
- Tsuguo Sunamura 2015. Rocky coast processes: with special reference to the recession of soft rock cliffs. Proceedings of the Japan Academy, Ser.B, pp.481-500.