



東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

火山角礫岩で構成される波食棚の形成高度： 伊豆半島恵比須島の事例（研究ノート）

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2021-03-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 森山,裕太, 青木,久 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2309/166774

火山角礫岩で構成される波食棚の形成高度 —伊豆半島恵比須島の事例—

森山 裕太*・青木 久**

キーワード：波食棚，形成高度，火山角礫岩，凝灰質砂岩，恵比須島

I はじめに

岩石海岸における典型的な侵食地形は，急峻な海食崖（以下，海崖と呼ぶ）と，その前面に広がるショア・プラットフォームである．このショア・プラットフォームは，（1）海側に傾斜しながら浅海域に連続するものと（2）ほぼ水平な平坦面をもち，海側末端に急崖のあるものの2種類に大別される．後者は波食棚と呼ばれ，岩石海岸でよく見られる地形である（例えば，Tsujimoto, 1987；Sunamura, 1992；日本地形学連合編, 2017）．波食棚は，絶えず波や海水飛沫の作用に曝されている海崖の後退によってもたらされ（例えば，Sunamura et al., 2014；青木, 2017），潮間帯付近の様々な高度に形成される（例えば，三位, 1963；鈴木ほか, 1970；高橋, 1975；Kirk, 1977；Sunamura, 1978, 1992；小橋ほか, 1990；Stephenson and Kirk, 2000；青木・前門, 2006）．その形成高度を，波の攻撃力や構成岩石の力学的強度で定量的に説明しようとする研究が行われており（例えば，Sunamura, 1991, 2002；青木・前門, 2006；Thornton and Stephenson, 2006），波の攻撃力が一定ならば，岩石強度が大きくなるほど，波食棚は高くなることが明らかにされている．しかしながら，岩石強度測定に基づき，波食棚の形成高度を議論

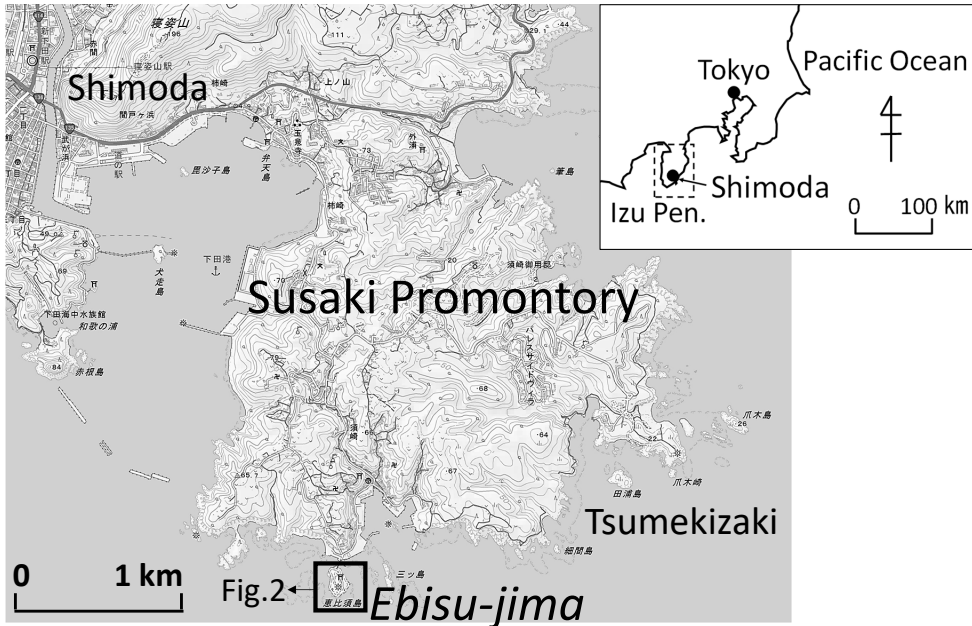
した従来の研究は，砂岩・泥岩・石灰岩など，ほぼ均質な岩石を対象としたものがほとんどであり，強度評価の難しさのためか，礫岩などの不均質な岩石を対象としたものは見あたらない．

静岡県下田市須崎半島の恵比須島には火山角礫岩で構成される波食棚が発達する（Sunamura, 1978；Sunamura et al., 2014）．本研究では，この恵比須島に発達する火山角礫岩の波食棚について，地形測量ならびにシュミットハンマーによる岩石の強度計測と，隣接する凝灰質砂岩からなる波食棚との比較検討により，形成高度の規定要因を探求することを目的とする．

II 調査地域の概観

第1図は，静岡県下田市須崎半島の地形図である．須崎半島南部の岩石海岸には海岸線に沿って岩礁記号が見られ，水平な平坦面をもつショア・プラットフォーム，すなわち波食棚が卓越する．調査対象とする恵比須島は，須崎半島最南端に位置し（第1図），南北150 m，東西100 mの小さな洋梨型の島である（第2図）．島の最高点は約21 mであり，海成段丘が形成されている．恵比須島は，須崎半島と長さ50 mほどの恵比須橋によって結ばれ，遊歩道が島の周囲を取り囲む．遊歩道の海側には波食棚が

* 埼玉県立川越高校（学部66期） ** 東京学芸大学教育学部



第1図 研究対象地域.

見られ、とくに島の南側には「千畳敷」と呼ばれる広い波食棚が発達する。地殻変動については、恵比須島の北4 kmに位置する柿崎地区の弁天島で1320～1580年前 (y.B.P.) に1.6 mほど隆起したという報告 (石橋ほか, 1979) がある一方、恵比須島周辺にはこの隆起の証拠が見あたらないという報告 (Sunamura et al., 2014) もある。

恵比須島周辺の地質については、松本ほか (1985) や狩野・伊藤 (2016) に詳しい。伊豆半島南部は新第三紀の火山性の基盤岩類に覆われており、恵比須島は上部中新統～鮮新統白浜層群の火山角礫岩と凝灰質砂岩で構成されている。火山角礫岩は自破碎溶岩である (松本ほか, 1985)。火山角礫岩は、径が数cm～数十cm程度の灰黒色の安山岩質の角礫と、それらの隙間を埋める軽石やスコリアからなる基質 (マトリックス) で構成される。凝灰質砂岩は白色～緑色で、スコリアを多く含む層が介在するため

層理が明瞭である。島の東部と南西部に火山角礫岩が、西部・北部・南東部に凝灰質砂岩が分布する。地層の走向は東北東～西南西で、北に10～15°の傾斜角をもつ。

恵比須島周辺の海域で、年間を通じて最もエネルギーの大きな波は夏季から秋季にかけて襲来する台風による暴風波 (暴浪) である。この海域の最大有義波の波高は8.5 m、周期は14.0 secであり、平均潮位差は約1.2 mである (Sunamura et al., 2014)。

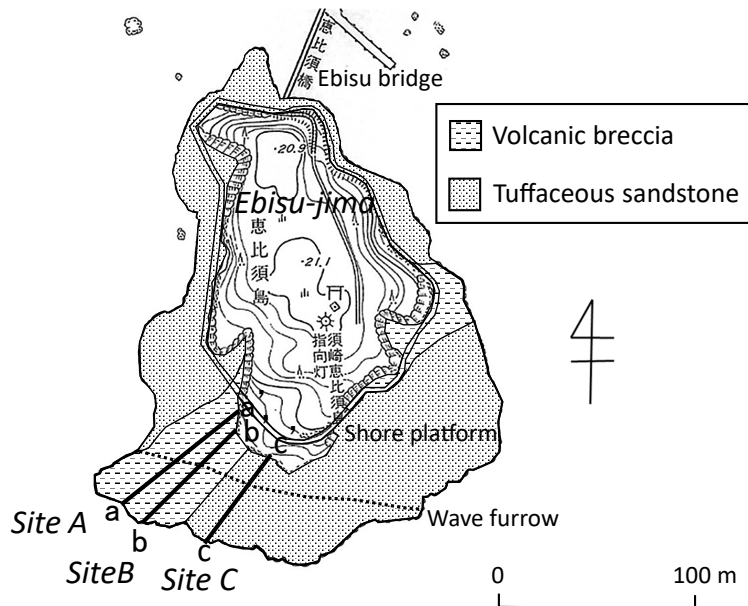
気候環境について、恵比須島から最も近い石廊崎観測所の月別平年値 (1981～2010年、気象庁, 2017) を用いて記載する。気温は1月と2月に最低で8.1℃、8月に最高で25.9℃である。風速は3.8～5.2 m/secで、卓越風向は冬には西、春から秋にかけては東北東である。相対湿度は夏季に高く、冬季に低い。年降水量は1777 mmで、梅雨期の6月と秋雨期の9月にかけて多く、12月から2月に少ない。

Ⅲ 調査地域の地形

恵比須島は波食棚に囲まれている（第2図）。最も広く発達しているのは外洋に面した南海岸で、水平幅は50 m以上に達する。一方、北東海岸では幅5 mと狭い。本研究では恵比須島の南海岸を調査対象とした（写真1a）。恵比須

島南海岸には、西側の狭い範囲に火山角礫岩（以下、角礫岩と呼ぶ）が、東側の広い範囲に凝灰質砂岩（以下、砂岩と呼ぶ）が分布する。地層は北西方向に向かって 14° で傾斜し、砂岩層の上に角礫岩層が重なっている。

波は基本的に南方から入射する。満潮時には、波食棚の海側末端の急崖部で碎波が起こ



第2図 恵比須島の波食棚と構成岩石.

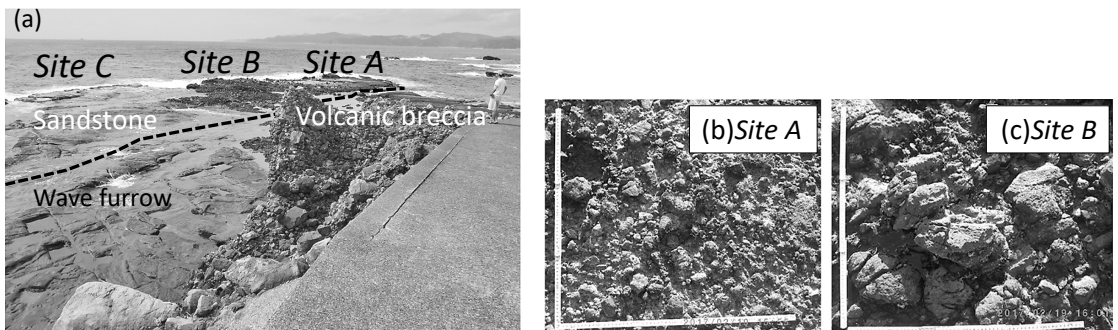


写真1 調査地域の波食棚と角礫岩. (a) 干潮時に遊歩道（北東側）から望む, (b) サイトAの角礫岩, (c) サイトBの角礫岩（図中のスケールは0.6 m×0.6 m）.

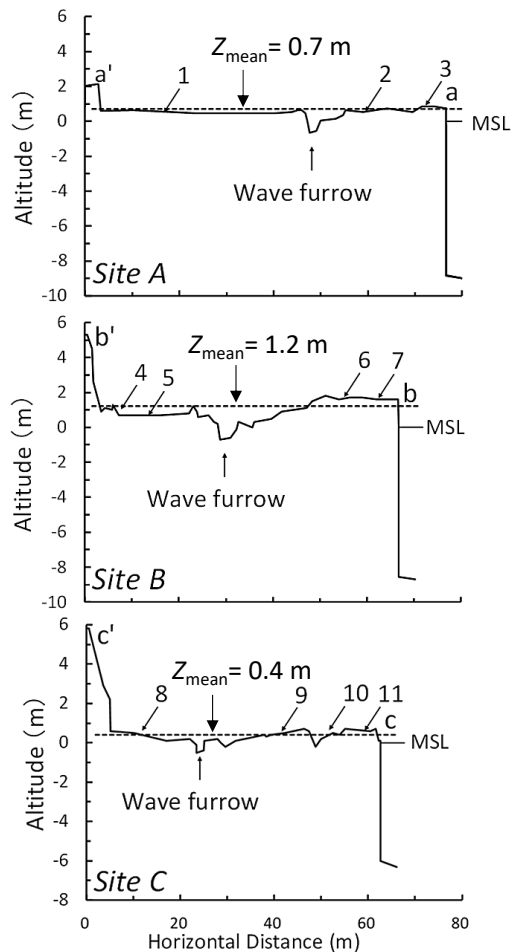
り、遡上波がボアとなって波食棚上を進行する。干潮時には波食棚が露出するが、海側末端の急崖に波が絶えず作用しているため、海側末端付近の岩石は常に海水やしぶきを被り、湿潤状態にある。

角礫岩からなる波食棚の表面は、数cm～数十cmの角礫や角礫間を埋める基質が露出する。基質よりも礫が突出するため、起伏が大きい。一方、砂岩からなる波食棚の表面は、角礫の突出がなく、なめらかである（写真1a）。波食棚上には、東西方向に延びる節理や断層が発達しており、調査地点では断層に沿って深さ1 m以下の波食溝が見られる。

波食棚の高度を把握するため、角礫岩の波食棚上に2本、砂岩の波食棚上に1本の、計3測線を設定した（第2図）。測線は、ほぼ同方向で西からa-a'、b-b'、c-c'とし、それぞれの地点をサイトA、サイトB、サイトCとした（写真1a）。地形測量はレーザー距離計と標尺（スタッフ）、水深測定機能リールのついた釣竿を用い、それらの結果をもとに縦断面形を作成した。

第3図は、各サイトの縦断面形を示している。3つの縦断面形に共通する中央部の深い凹地は、上述した東西方向に伸びる波食溝である。サイトAは角礫岩波食棚である。波食溝付近を除き、崖の基部から海側にかけてほぼ水平である。波食棚の水平幅は76 mで、波食棚表面の海拔高度（以下、高度と呼ぶ）は、崖の基部で0.6 m、海側の最高点で0.9 mであった。海側末端の前面水深は8.8 mであった。波食棚表面の角礫岩に含まれる角礫の最大径は10 cm程度で、大小様々な礫が含有していた（写真1b）。サイトBの波食棚も角礫岩から成り、崖の基部から波食溝付近までは水平を保っているが、波食溝付近から海側にかけて徐々に高度が上がり、海側の領域はランパート状の高まりとなっている。水平幅は63 m、高度は崖の基部で0.9 m、

海側の最高点で1.8 mであった。海側末端の前面水深は8.8 mであった。表面の角礫岩は、サイトAと同様、大小の角礫が混じっているが、サイトAに比べ最大径が数十 cmと大きく、基質の露出が少ないように感じられた（写真1c）。サイトCは、砂岩波食棚である。砂岩の表面は、局所的に直径数cm～数mのポットホールや1辺数mの矩形の石切り場跡（凹地）が見られるが、それ以外の場所では角礫の突出がないため、きわめてなめらかである（写真1a）。水平幅57



第3図 各サイトの縦断面形（破線は波食棚の平均高度、数字はシュミットハンマーの測定点番号をそれぞれ示す）。

m, 高度は崖の基部で0.6 m, 海側の最高点で0.7 mであった。海側末端の前面水深は6.0 mであった。以上のように調査地域の波食棚は、平均満潮位付近かそれ以上の高度にあり、海側で高く、崖基部で低いという共通の特徴がある。

Ⅳ 構成岩石の力学的強度と角礫岩の角礫含有率

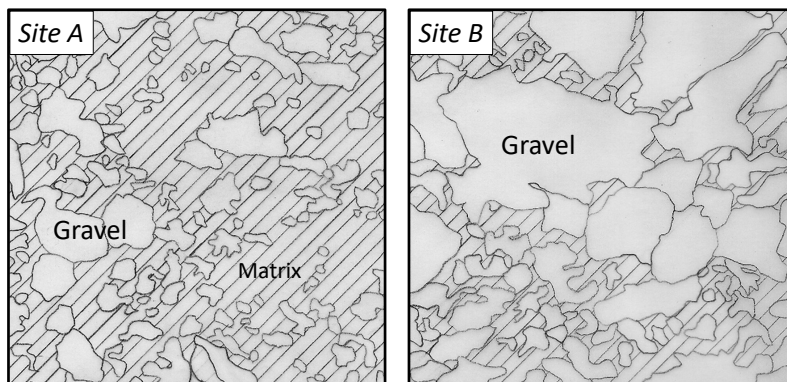
シュミットハンマーで得られる反発硬度は、一軸圧縮強度と良好な相関関係をもち、岩石の力学的強度の指標にできる。そこで、シュミットハンマーN型を用い、各サイトの角礫岩と砂岩に対し、反発硬度（R 値）を測定した。各サイトにつき3～4の測定点を設定し、1つの測定点で単打法（松倉・青木, 2004）による5回の打撃で得られた値の平均をその測定点のR 値として代表させた。角礫岩では礫の部分と基質の部分とにわけて測定した。第1表にそれらの計測結果をまとめた。角礫と基質のR 値はそれぞれ37.8～51.4（平均値は44.1）と11.8～21.6（平均値は16.3）、砂岩のR 値は12.2～17.4（平均値は15.8）であった。角礫は基質よりも硬く、基質は砂岩と近い値をとる。

サイトAとBにおいて角礫岩の礫混じりの程度（角礫と基質の混合割合）に違いが見られた

ため、角礫の含有率を次の方法で求めた。(1) 波食棚表面において0.6 m × 0.6 mのグリッドを定めた。(2) グリッドに対して折尺（スケール）を入れて垂直方向からデジタルカメラで撮影した。(3) 撮影された画像をプリントアウトし、トレース方眼紙を重ねてグリッド内の1 cm以上の角礫を抽出した（第4図）。(4) 方眼法

第1表 シュミットハンマーの測定結果

	Measuring points No.	R-value	
		(Gravel)	(Matrix)
<i>Volcanic breccia</i>			
Site A	1	46.2	11.8
	2	37.8	16.4
	3	38.2	18.4
Site B	4	43.4	21.6
	5	45.2	16.8
	6	51.4	13.2
	7	46.8	15.6
Mean		44.1	16.3
<i>Tuffaceous sandstone</i>			
Site C	8	17.4	
	9	16.4	
	10	12.2	
	11	17.2	
Mean		15.8	



第4図 サイトAとBにおける角礫と基質の混合割合の差異（方形枠は0.6 m×0.6 m）。

によって角礫の総面積を算出し、グリッド内における角礫の面積含有率（以下、角礫含有率と呼ぶ）を求めた。サイトAとBのそれぞれ4カ所で実施された。角礫含有率は、サイトAが36.7～50.4%（平均値は41.6%）の小さな値を示し、サイトBで60.8～75.6%（平均値は68.4%）の大きな値であった。この結果は、サイトAよりサイトBで基質の露出程度が小さいという観察結果と一致する。

ここで、角礫含有率の算出方法に関する若干の問題点を述べておく。礫は一般に2 mm以上の粒径をもつ粒子である。本研究では、写真から礫をトレースする作業において、撮影画像の解像度が低かったり、表面に海藻が付着していたりして1 cm未満の礫を抽出することが困難であった。そのため、1 cm以上の礫を対象として抽出した。実際、現地角礫岩を観察すると2 mm～1 cmの小さな礫も含まれる。したがって、本研究で得られた角礫含有率の値は、実際の含有率よりも過小評価される可能性がある。しかし、サイトAとBの角礫含有率の大小関係には影響がないと考え、次章では、これらの値を用いて波食棚高度と角礫含有率との関係を検討する。

IV 考察

本研究では波食棚の高度は、第3図の縦断面上で波食溝とその縁辺部の凹部を除いた部分の平均的高度 (Z_{mean}) で表わされるものとする（図中破線）。各サイトの波食棚の形成高度は、サイトAが0.7 m、サイトBが1.2 m、サイトCは0.4 mとなり、角礫岩波食棚のほうが砂岩波食棚に比べて高い。

各サイトは近接していることから、各サイトの波や潮汐を受ける環境に大きな差異はなく、それらの攻撃力を一定とみなすことができる。

したがって、各サイトの高度の違いは、構成岩石の波の作用に対する抵抗力の違いを反映したものになる。そこで、波食棚の高度とシュミットハンマーの強度値をもとに、波の作用に対する角礫岩の抵抗性を評価し、波食棚の高度の規定要因について考察していく。

まず角礫岩について考える。現地観察によれば基質よりも礫が突出していた。角礫と基質のR値の平均はそれぞれ44.1, 16.3であり、角礫と基質の力学的強度は大きく異なる。角礫は、基質よりも力学的に硬い。Sunamura (1994) は地層面が垂直で、力学的強度が異なる互層からなる海崖に、規則波を作用させて波食棚を形成させる実験を行った。硬軟の地層で高度が異なり、強度の大きい地層は高く突出し、強度の小さい地層はより低い位置まで侵食されることを報告した。この実験結果は、強度の大きい礫が高く、強度の小さい基質が低いという本研究の現地波食棚の表面形態と整合する。このことは、R値を指標とする力学的抵抗力（強度）と波に対する抵抗力とが対応し、R値の大きい角礫は基質よりも波の攻撃に対する抵抗力が大きいこと、そして現地波食棚表面において波の侵食プロセスが支配的であることを示している。

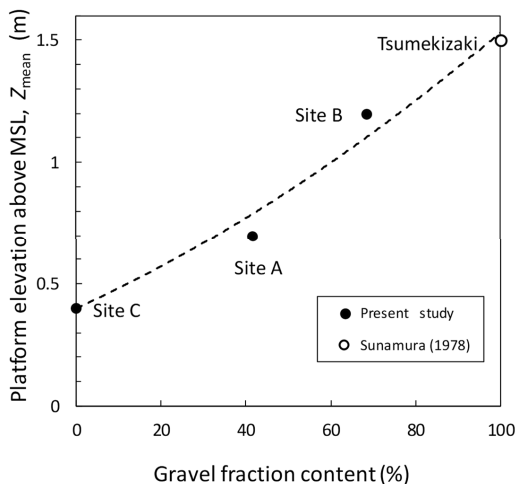
次にサイトAとBの角礫岩波食棚の高度を比較する。先行研究により、ほぼ同一と考えられる波浪の条件下では岩石強度が大きくなるほど、波食棚は高くなることが実験や野外調査により確かめられている（例えば、Sunamura, 1991, 2002; Thornton and Stephenson, 2006）。波食棚はサイトAよりもサイトBのほうが0.5 m高い位置に形成され、とくに海側末端付近の高度には約0.9 mもの違いがある。このように同質の角礫岩にもかかわらず波食棚の高度が異なる理由を考察する。第5図は、縦軸に波食棚の形成高度 (Z_{mean}) を、横軸に角礫含有率をとり、3つのサイトのデータ（●印）をプロット

したグラフである。サイトCの凝灰質砂岩は角礫岩の基質とほぼ同じR値をとり、基質と類似の火山性物質であることから、角礫の含まれていない火山性岩石とみなし、角礫含有率0の位置にプロットした。角礫含有率の低い波食棚（サイトA）と、角礫含有率が0である波食棚（サイトC）の高度差は0.3 mと小さいものの、サイトC, A, Bの順に、角礫含有率が大きくなるほど、波食棚が高い位置に形成されていくことがわかる。この結果は、角礫含有率が異なると、角礫に比べて脆弱な基質の露出程度が変化し、角礫岩の侵食の受けやすさに変化をもたらすことを示している。具体的に言えば、角礫含有率の小さい波食棚は基質の露出面積が大きいので、波の侵食を受けやすく、低くなるという地形変化プロセスをもつことを示唆する。以上のことから、波の攻撃に対する角礫岩の抵抗力は、基質の力学的強度と礫含有率に関係し、それらが角礫岩波食棚の高度を規定する要因になり得る。

本研究では、角礫含有率が高くなるにつれて、角礫岩波食棚の高度が上昇することが示された。この結果に対し、岩石強度が大きいほ

ど、波食棚の高度が大きくなるという先行研究の結果を踏まえると、角礫含有率が大きい角礫岩ほど、礫と基質を含めた大きなマス（角礫岩全体）としての力学的強度が大きいことを示している。最後に、不均質な角礫岩のマスとしての力学的強度について、波食棚の高度の観点から考察してみる。松本ほか（1985）によれば、恵比須島の角礫岩に含まれる角礫は爪木崎（第1図）に分布する安山岩質溶岩と同質であることが報告されており、この安山岩は角礫と同一の力学的強度（R値）を示すと考えられる。下田周辺の波食棚の高度と岩石の種類との関係を調べたSunamura（1978, Fig.4）によれば、爪木崎付近の安山岩で構成される波食棚の高度は1.5 mと記されている。この地点を角礫含有率100%の岩石で構成されているとみなし、第5図に○印でプロットした。安山岩で構成されている、ここの波食棚は、本研究の角礫岩波食棚よりも高度が大きい位置にプロットされている。角礫岩波食棚の高度は、角礫と同一強度の安山岩波食棚と、基質と同一強度の砂岩波食棚との間の値を示し、4点のデータにはバラツキがあるが右上がりの増加傾向を明瞭に示している（第5図）。このことは、角礫岩のマスとしての強度は角礫と基質の中間の値をとり、その強度が角礫含有率の増加とともに大きくなることを示唆する。さらにいえば、基質と角礫の強度と混合率の組み合わせで角礫岩のマスとしての力学的強度を評価できる可能性を示す結果ともいえよう。

以上、本研究ではデータは少ないものの、角礫岩を構成する強度の大きい角礫と小さい基質の含有比率が、波の作用に対する抵抗性の違いに影響を与え、波食棚高度の違いをもたらすことがわかった。すなわち、本研究の結果は、波の攻撃に対する角礫岩の抵抗力が基質と角礫の強度そして角礫含有率に依存し、波食棚の高度



第5図 波食棚の形成高度と角礫含有率との関係。

に深く関係することを示している。角礫岩の抵抗力には、これらの要因だけでなく礫の粒径や形状、礫と基質との付着強度、基質の風化しやすさなども影響することが予想される。これらの検討については今後の課題としたい。

V まとめ

本研究では、静岡県下田市須崎の恵比須島に発達する火山角礫岩で構成される波食棚を対象として、シュミットハンマーによる岩石強度計測および角礫含有率の算出、そして凝灰質砂岩の波食棚との比較によって、形成高度の規定要因に関して考察した。火山角礫岩の波食棚の形成高度は、基質と角礫の強度および混合率に規定され、角礫含有率が大きい波食棚ほど高くなる傾向をもつことがわかった。

謝辞

本稿は、筆者の一人である森山が東京学芸大学社会科地理学教室に提出した臨地研究報告をベースに、調査・検討を加え、加筆修正したものである。原田悠紀氏をはじめとする東京学芸大学の学生諸氏には地形測量の際にご協力いただいた。本研究を進めるにあたり、科学研究費(17K18524)を使用した。ここに記して感謝の意を表します。本稿の骨子は、2017年日本地理学会春季大会(筑波大学)で発表した。

参考文献

- 青木 久 (2017)：波食棚の形成をもたらす海食崖の後退プロセス—砂岩塊からなる石垣を利用したアプローチ—。地学雑誌, 126, pp. 413-424.
- 青木 久・前門 晃 (2006)：石灰岩で構成される波食棚の形成要因について—沖縄島辺戸岬の事例—。地形, 27, pp. 461-475.
- 石橋克彦・太田陽子・松田時彦 (1979)：南伊豆, 吉佐美・柿崎の隆起貝層の¹⁴C年代, 地震第2集, 32, pp. 105-107.
- 狩野謙一・伊藤谷生 (2016)：伊豆半島南部の新第三系白浜層群に見られる浅海底火山活動と堆積・造構過程との相互作用, 地質学雑誌, 122, pp. 413-432.
- 小橋拓司・青木哲哉・山内一彦 (1990)：但馬御火浦における現成波蝕棚について, 立命館地理学, 90, pp. 103-109.
- 鈴木隆介・高橋健一・砂村継夫・寺田 稔 (1970)：三浦半島荒崎海岸の波蝕棚にみられる洗濯板状起伏の形成について, 地理学評論, 43, pp. 211-222.
- 高橋健一 (1975)：日南海岸青島の「波状岩」の形成機構, 地理学評論, 48, pp. 43-62.
- 日本地形学連合編 (2017)：『地形の辞典』。朝倉書店。
- 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, pp. 175-196.
- 松本 良・片山哲哉・飯島 東 (1985)：伊豆半島南部下田周辺の地質の再検討—堆積盆の変遷, 火成活動と熱水変質作用—。地質学雑誌, 91, pp. 43-63.
- 三位秀夫 (1963)：海蝕と海水準について, 海洋地質, 2, pp. 8-17.
- Kirk, R. M. (1977)：Rates and forms of erosion on intertidal platforms at Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 20, pp. 571-613.
- Stephenson, W. J. and Kirk, R. M. (2000)：Development of shore platforms on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand: Part

- Two. The role of subaerial weathering. Geomorphology, 32, pp. 43-56.
- Sunamura, T. (1978) : Mechanisms of shore platform formation on the southern coast of the Izu Peninsula, Japan. Journal of Geology, 86, pp. 211-222.
- Sunamura, T. (1991) : The elevation of shore platforms: a laboratory approach to the unsolved problem. Journal of Geology, 99, pp. 761-766.
- Sunamura, T. (1992) : Geomorphology of Rocky Coasts. John Wiley & Sons.
- Sunamura, T. (1994) : Rock control in coastal geomorphic processes. Transactions, Japanese Geomorphological Union, 15, pp. 253-272.
- Sunamura, T. (2002) : A study on the elevation of the shore platforms initiated by broken waves: analysis of wave-basin experiment data. Transactions, Japanese Geomorphological Union, 23, pp. 387-394.
- Sunamura, T., Tsujimoto, H. and Aoki, H. (2014) : The rock coast of Japan. In: Kennedy, D.M., Stephenson, W.J. and Naylor, L.A. (eds) Rock Coast Geomorphology: A Global Synthesis. The Geological Society, London, Memoirs, 40, pp. 203-223.
- Thornton, L.E. and Stephenson, W. J. (2006) : Rock strength: A control on shore platform elevation. Journal of Coastal Research, 22, pp. 224-231.
- Tsujimoto, H. (1987) : Dynamic conditions for shore platform initiation. Science Reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, A8, pp. 45-93.

Elevation of Shore Platform Made of Volcanic Breccia: A Study from Ebisu-jima, Izu Peninsula

MORIYAMA Yuta* and AOKI Hisashi**

Keywords : Horizontal shore platform, Elevation, Volcanic breccia, Tuffaceous sandstone, Ebisu-jima

*Kawagoe High School

**Department of Geography, Tokyo Gakugei University