

日南海岸いるか岬の波食棚地形に関する予察的研究： 波食棚構成岩石の強度と含水比の測定

Strength and Moisture Content of Sandstone Bedrock of Shore Platform
in Iruka-misaki, Nichinan Coast

青木 久^{*}・大島 智洋^{**}・若狭 幸^{*}・八反地 剛^{***}・松倉 公憲^{****}

Hisashi AOKI^{*}, Tomohiro OSHIMA^{**}, Sachi WAKASA^{*},
Tsuyoshi HATTANJI^{***} and Yukinori MATSUKURA^{****}

1 はじめに

岩石海岸には、顕著に異なる二つのタイプの波食地形 (shore platform) がみられる。一つは、海崖の基部から傾斜の変換点を持たずに緩勾配で浅海底に連続する、海食台とよばれる地形である。他の一つは、海崖基部にほぼ水平で平坦な面からなる地形で、その海側末端に急崖をもつ波食棚とよばれるものである。これらの地形は、波の攻撃力と岩石の強度の相対的な大きさによって区分される (Tsujiimoto, 1987; Sunamura, 1992)。

波食棚の形成起源・発達プロセスに関して古くから多くの研究がなされており、主に、波の破壊作用を原因に求めるものと風化作用に原因を求めるものの2説がある (たとえば, Stephenson, 2000 に詳しい)。たとえば, Sunamura (1975) は波食棚の初期形成は、波食によって説明できることを水路実験によって示した。一方、

Stephenson and Kirk (2000) は波食棚を構成する岩盤の侵食速度の計測や観察結果に基づき、波食棚の形成において風化作用が主要な要因であることを主張した。このように波食棚の形成要因については、しばしば『波食説 対 風化説』として議論されており、統一的な見解が得られていない。

波食棚は、潮間帯の低潮位、中潮位、高潮位の各高さで、あるいは高潮位より高い位置で形成されることが知られている (たとえば, 三位, 1963)。しかし、波食棚がどの高さで形成されるかについては、研究者によって意見が異なり、(1) 波の侵食力 (たとえば, Kirk, 1977; Sunamura, 1975, 1978, 1991, 2002), (2) 構成岩石の強度 (Sanders, 1968; Phillips, 1970; Gill, 1972), (3) 層理・節理・断層のような岩石構造 (Bird and Dent, 1966; Kirk, 1977), (4) 岩石の風化 (Bartrum, 1916; Wentworth, 1938; Bird and Dent, 1966; Hills, 1972; Sunamura, 1978;

* 筑波大学生命環境科学研究科大学院生

** 東京大学大学院理学系研究科大学院生

*** 日本学術振興会特別研究員

**** 筑波大学生命環境科学研究科

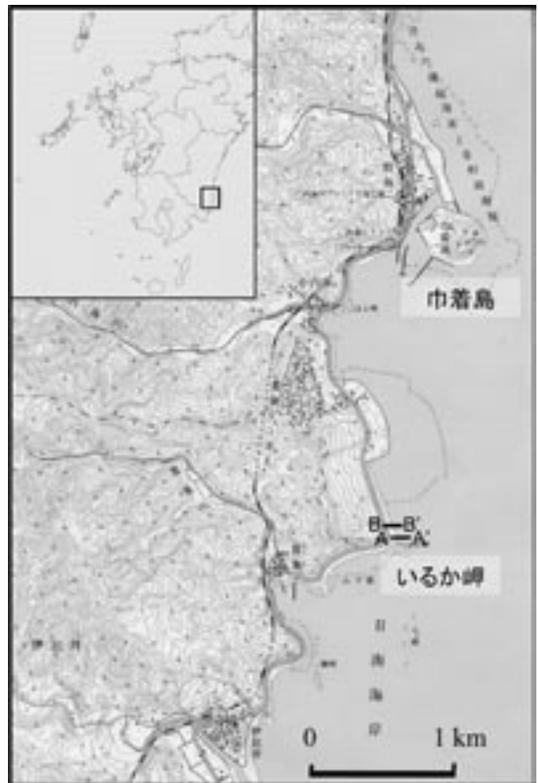
Stephenson, 2000; Stephenson and Kirk, 2000), (5) 潮位差 (Sanders, 1968; Hills, 1972; Trenhaile, 1978) などの要因が複雑に絡み合って決定されると考えられている。特に、地殻変動の激しい地域において、高潮位付近に形成される波食棚は暴浪によって形成される現成のベンチと、離水波食棚との区別が難しい (たとえば、茅根・吉川, 1986) という。

鬼の洗濯板で有名な青島以南の宮崎県日南海岸には、現成の波食棚や離水波食棚から成る段丘が広く分布する。そこで、本研究では、日南海岸北部いるか岬に発達する波食棚を対象として、レーザー距離計を用いて波食棚の縦断形測量を行い、波食棚の形態とその高さを把握するとともに、波食棚と海崖基部を構成する岩盤の強度と水分量を計測することにより、この波食棚の発達に及ぼす風化の影響に関する予察的な考察を試みた。現地調査は 2003 年 9 月の中潮の干潮時に行った。

II 現地調査

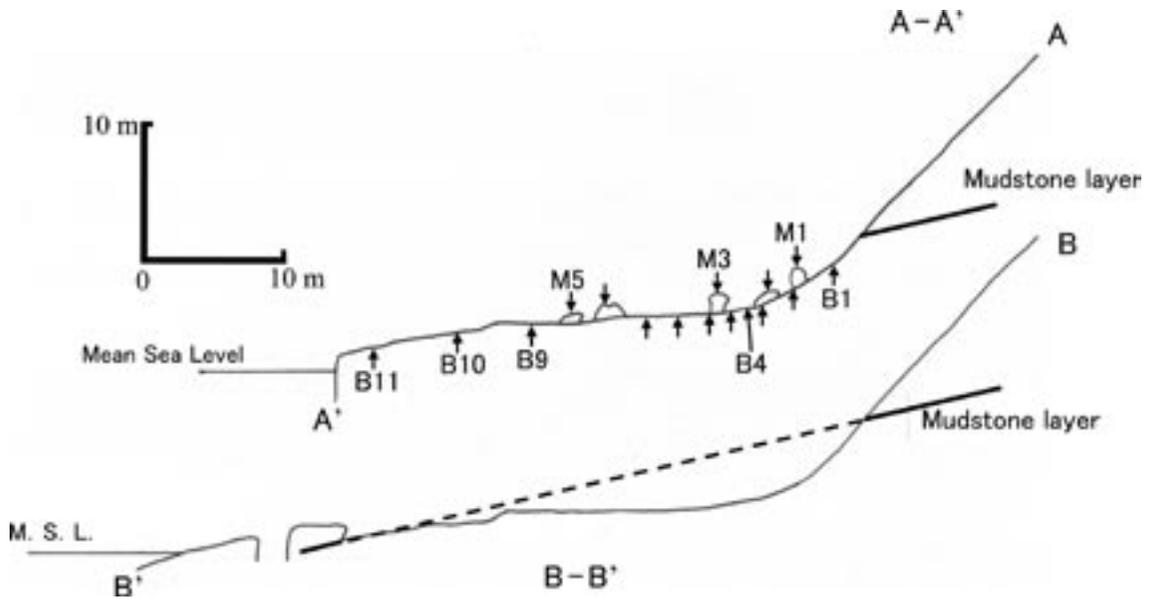
1. 調査地域と波食棚の縦断形

調査対象とした波食棚は、北緯 31 度 43 分、東経 131 度 28 分の宮崎県日南海岸北部いるか岬に存在する (第 1 図)。日南海岸北部には、青島の「鬼の洗濯板」に代表されるように砂岩泥岩互層 (鮮新統の宮崎層群) が分布し、潮間帯には波食棚が形成されている (高橋, 1975; 高橋ほか, 1993)。いるか岬周辺では、岬の先端を取り囲むように北方と西方に、鬼の洗濯板よりもやや高い位置に (以下に詳述するように、海拔高度 2 ~ 4 m) 幅 30 ~ 50 m ほどの波食棚が広く分布している。波食棚の陸側の末端は明瞭な傾斜変換点を持ち背後の海食崖に接している。海食崖の高さは 10 ~ 20 m で、傾斜が約 45 度の凹凸の少ない斜面である。波食棚上および海食崖の基部から約 1 m の高さまでは植生はなく、砂岩が露出する。



第 1 図 研究地域

いるか岬において、レーザー距離計を用いて A - A' と B - B' の 2 測線 (A - A' が南側、B - B' が北側の測線で、両者は 10 m ほどの距離で隣り合う) を設けて波食棚の縦断形を測量した (第 1, 2 図)。海拔高度は、測量時に計測した海面をもとに、潮汐表によって平均海面からの高さに補正した (誤差は 10 ~ 20 cm 程度と思われる)。測線 A - A' 上のきのこ岩はメジャーを用いて形状を計測して、測線 A - A' の縦断形に書き加えた。同じ A - A' 測線上に、岩盤強度と含水比の計測地点を示した。計測点は、波食棚上の点を B とし、きのこ岩上の点を M として表し、海崖基部付近から海側に向かって順に番号を付記した (B1 ~ B11, M1 ~ M5)。ここで、計測地点 B1 ~ B3 は海食崖斜面上、B4 ~ B11 は波食棚上に位置する。



第2図 波食棚の縦断形 (矢印：シュミットハンマー計測地点)

いるか岬の波食棚の海拔高度は2～4 mの範囲をとり、約30 mの幅をもち、波食棚上には節理に沿って盛り上がったリム、きのこ岩、ポットホールなどの微地形が観察された。測線A-A'における海食崖の基部の高度は4 mであり、波食棚上の地点B4～B9における高度は3～4 mで極めて平坦である。その沖側のB10, B11のある面は海側に約14度の緩斜面となっており、海側端の急崖のへのり高度は約2 mである。この傾斜面上にはきのこ岩、ポットホールなどがほとんど発達していなかった。海側端の急崖の水深は2.5 m以上であった。また、測線B-B'の縦断形は、A-A'の縦断形上に、砂岩層が乗る形状を持ち、この砂岩層がランパートを形成していた。下層の砂岩層とランパートを構成する上層の砂岩層の間には厚さ数cmの泥岩層が観察された。ランパートは陸側に高度約2 mの水平面を持ち、海側に約15度で傾斜していた。海食崖斜面の高度10 m付近には厚さ数cmの泥岩層が観察され、ランパート下と海食崖における泥岩層を直線で結ぶ(図中破線)とその傾斜は約14度と

なる。この破線は、A-A'における海側傾斜面の傾斜とほぼ一致する。この線は、波食棚の形成以前の、かつての砂泥互層の層理面を示すと思われる。このことから、この地域は海側へ傾斜した流れ盤構造をもつことと、波食棚面を構成する砂岩層は、波食棚形成以前には、厚さが数mもあったことが示唆される。

この地域は1年間に数mmの速度で隆起しており、6000年前、すなわち縄文海進時の海面は現在の海面と比較すると相対的に約8 m高かったことが知られている(長岡, 1986)。宮崎平野から青島付近にかけては3～4段の完新世の海成段丘が分布し(長岡ほか, 1987, 1991a, 1991b; 前空, 1992)、青島以南にも、これらの段丘に連続して海成段丘や離水波食地形が分布している。前空・長岡(1988)は、いるか岬の約2 km北に位置する巾着島(第1図参照)には、4段の海成段丘が発達していることを認め、これらを巾着I～IV面とした。巾着島から都井岬にかけては断続的に海成段丘が分布し、波食棚やノッチが高度8～9 m, 5 m程度, 3～4 m, 2 m程度

のところに発達するという。堆積物の¹⁴C年代から求めたⅠ，Ⅱ，Ⅲ面が離水した時期はそれぞれ5000年～4800年，3000年，1600年前であると考られている。現在のいるか岬の平坦面は高度から判断すると前空・長岡（1988）の巾着Ⅲ面に相当すると思われるが，干潮時において，沖側に一段低い波食棚が観察されないことから，現成のベンチの可能性もある。

2. きのか岩と波食棚における岩盤強度の比較

きのか岩（mushroom rockあるいはstack）とは，一般に硬い岩石が侵蝕されずに残った，あるいは，岩盤が節理や断層などの弱線に沿って侵食された結果，残留した地形であり，波食棚上で発達する（Sunamura, 1992; Trenhaile *et al.*, 1999）。本研究地域の波食棚上および海食崖基部付近には，比高が数十cm～1.5m程度のきのか岩が分布する。きのか岩の頭部は，団球と呼ばれる砂の層が脱水固結して砂岩に変わる過程で，局部的に石灰成分が濃集してできた（町田ほか，2001）砂岩で構成される。また，柱部は，波食棚を構成するものと同じ砂岩で構成されていた。そこで，測線A-A'上の波食棚ときのか岩の頭部を対象に，L型シュミットハンマーを用いて反発強度の計測を行い，岩盤強度の比較を行った（第1表）。測定地点は，第2図に示したように，波食棚上（B1～B11）ときのか岩上（M1～M5）である。

シュミットハンマーの連打法によって求められる最大値は，岩盤表面の風化層やゆるみの影響のない強度，すなわち，岩盤内部の新鮮な強度を示すことが知られている（松倉・青木，2004）。そこで，各測定地点で鉛直下向きに連打法計測（同一点を連続的に10回打撃）を行い，最大値を R_{\max} とした。第1表にその結果を示した。きのか岩頭部の R_{\max} 値は約50～60の範囲に集中し，一方，波食棚の岩盤の値は約45～50の範囲に集中している。このことから，きのか岩頭部は波食棚表面よりも硬い砂岩で構成され，それらが風

化・侵食作用から免れた地形であることを示している。

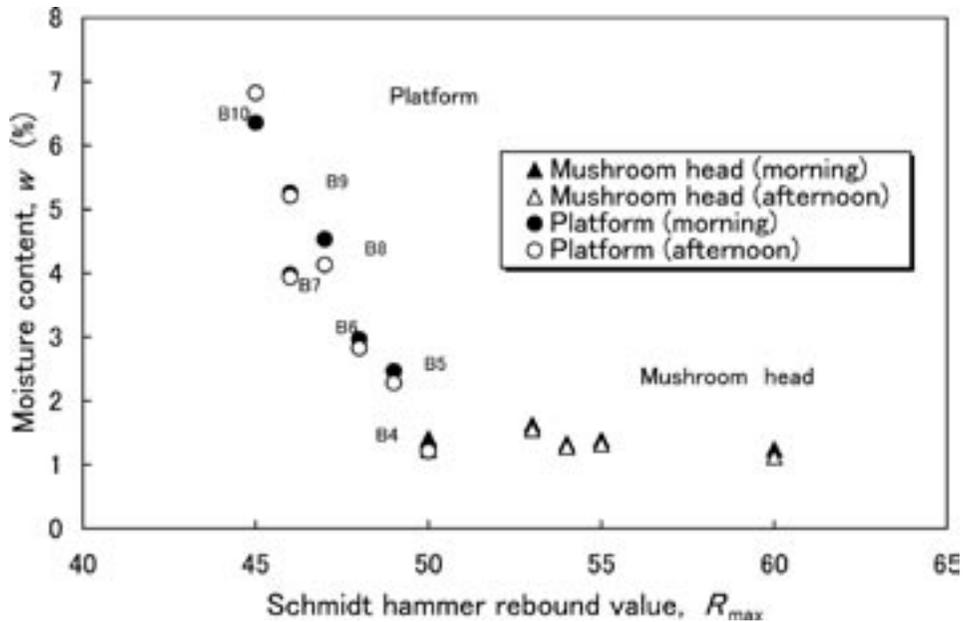
3. 波食棚上ときのか岩における岩盤表面の水分量とその変化

波食棚を構成する砂岩の表面には，粒状に剥離（disaggregation）した砂粒子が見られ，指先で強くこすると容易にすり減らすことができる。また波食棚の背後の海食崖にも，このような粒状の風化生成物や塩類風化で形成されるタフォニ・蜂の巣構造が観察される。したがって，波食棚とその近傍は，塩類風化作用の卓越する場であることが推測される。風化作用が起こるためには，岩盤表層への海水（飛沫）の供給と，供給された海水の乾燥による結晶化，すなわち岩盤表層の含水比変化，というプロセスが必要になる。そこでこの測線A-A'上における波食棚上（B4～B10），およびきのか岩（M1～M5）についてポータブル赤外線水分計を用いて，岩盤表層の含水比変化を測定した。この水分計の特性やキャリブレーションについては，Matsukura and Takahashi（1999）に詳しい。それによると，水分計で得られるのは吸光度 X の値であり，青島の砂岩を用いたキャリブレーションによって，岩石表面の含水比 w は $w = 18X$ という一次式で換算できる。そこで，本計測で得られた吸光度の値はこの式により，含水比に計算してある（第1表）。吸光度の計測は2003年9月29日の午前11時と午後2時の2回測定した。油津検潮所におけるこの日の干潮時間は午後2時3分である。

第3図に計測された含水比 w と岩石強度 R_{\max} の関係を示した。含水比のデータは波食棚上，きのか岩を別々に，計測時ごとにプロットした。波食棚上での含水比は1.2%～6.8%の範囲を取り，きのか岩では1.1%～1.6%であり，波食棚はきのか岩に比べて，含水比が高いという傾向が見られる。これは，波食棚上における遡上波や海水飛沫による海水の供給量がきのか岩よりも多いこと

第1表 反発強度と含水比の測定結果

計測地点	反発値		風化係数	含水比 (%)		
	連打法最大値	単打法平均値		w_{AM}	w_{PM}	$\Delta w = w_{AM} - w_{PM}$
	R_{max}	R_s	$W_c = R_{max} / R_s$			
B 1	46	34.0	1.35			
B 2	47	35.2	1.34			
B 3	50	38.0	1.32			
B 4	50	39.2	1.28	1.28	1.21	0.06
B 5	49	39.2	1.25	2.47	2.28	0.19
B 6	48	36.8	1.30	2.97	2.83	0.14
B 7	46	41.4	1.11	3.98	3.93	0.05
B 8	47	34.6	1.36	4.53	4.13	0.40
B 9	46	36.2	1.27	5.26	5.21	0.05
B10	45	34.8	1.29	6.36	6.82	- 0.47
B11	47	33.0	1.42	—	—	—
B 新鮮面	49	46.0	1.07	—	—	—
B 風化面	49	37.6	1.30	—	—	—
M 1	60	—	—	1.24	1.12	0.12
M 2	54	—	—	1.33	1.28	0.05
M 3	55	—	—	1.39	1.32	0.07
M 4	53	—	—	1.63	1.55	0.08
M 5	50	—	—	1.42	1.23	0.19



第3図 シュミットハンマー反発値と含水比との関係

を示唆する。また、波食棚上における含水比は、B3 から B10 へと海側に向かって高くなる。これは、海側ほど、潮位低下による露出が遅くなるためであろう。また、B10 以外の全ての地点の午後の含水比 w_{PM} は、午前中の含水比 w_{AM} よりも小さくなり、波食棚上の平坦面での含水比の変化 $\Delta w (= w_{AM} - w_{PM})$ は、きのこ岩よりも大きいという傾向がある。このことは、波食棚表面における乾燥化（塩類の結晶化）が激しいことを示唆する。前述したように、きのこ岩を構成する砂岩の強度は波食棚を構成するものよりも大きい。一般に強度の小さな岩石ほど、塩類風化しやすいと考えられている（Matsukura and Matsuoka, 1996）。したがって、岩石強度の低い波食棚上で、含水比とその変化量が大きいことは、波食棚における塩類風化作用が、きのこ岩よりも強く生起することを示唆する。

4. 波食棚上における岩盤表面の風化程度

前節で述べたように、もし波食棚上で塩類風化作用が起こっているのであれば、波食棚を構成する砂岩表面の強度は低下しているはずである。そこで、L型シュミットハンマーを用いて波食棚上における岩盤の強度低下の定量的把握を試みた。

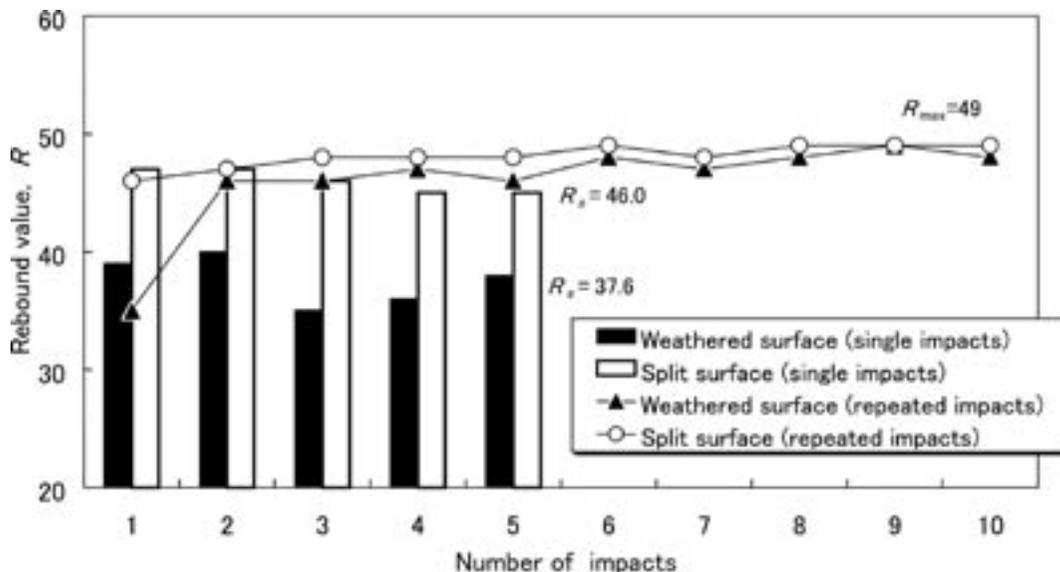
Gökçeoğlu and Aksoy (2000) は L 型シュミットハンマーを使用し、風化係数なるパラメーターを考案した。風化係数 W_c は新鮮な岩石表面での反発値 R_f と、風化した岩石表面での反発値 R_w を用いて、以下のように表される：

$$W_c = R_f / R_w \quad (1)$$

この W_c は全く風化していなければ 1 となり、風化が進んでいるほど値が大きくなる。また、風化層が薄い場合には、シュミットハンマーの連打法による計測値から岩石の新鮮部の硬さを知ることができる（松倉・青木, 2004）。したがって、本研究では、Gökçeoğlu and Aksoy (2000) の関

係を利用して、風化していると思われる波食棚面（風化面：以下風化面と呼ぶ）において単打法で得られた平均値 R_s と連打法における最大値 R_{max} の比 $W_c = R_{max} / R_s$ の値を知ることで、岩盤表面の風化の状態を把握することができると考えた。まず、波食棚上におけるシュミットハンマーの連打法による最大値が新鮮な岩石の硬さを示すかどうかを検討した。風化面とカーボンランダム砥石で削った新鮮面（未風化面：以下新鮮面と呼ぶ）に対して、下向きに同一の点を 1 回のみ打撃し、次々と移動させながら 5 点を打撃する単打法と 10 回連打する連打法で計測を行った。それらの結果を第 4 図に示した。連打法で計測した測定値について、風化面では、1 打目の値は 35 ときわめて小さい値をとり、2 打目以降は 45 以上の値をとり、打撃回数とともにわずかに R 値が大きくなる傾向をもち、最大値は 49 に達する。一方、新鮮面では、1 打目の値は 46 をとり、打撃回数の増加にしたがい、 R 値は 49 に収束する。砂岩塊の風化面と新鮮面における R_{max} （最大値）は 49 と同じ値をとり、風化面において連打法により得られた R_{max} の値は未風化部（内部の新鮮な部分）の硬さとみなすことができる。ここで注意しなければならないのは、新鮮面であっても、連打法の最初の 1 打目は R_{max} よりわずかに低い値をとることである。同一点を 1 打だけ打撃して次々と場所を変えて打撃するのが単打法であることから、単打法の平均値 R_s の値も当然 R_{max} よりも低くなる。風化面および新鮮面における単打法の平均値 R_s は岩盤表面の平均強度を示し、風化面と新鮮面での R_s の値はそれぞれ 37.6, 46.0 という値をとる。したがって、風化面と新鮮面での W_c の値は $49 / 37.6 = 1.30$, $49 / 46 = 1.07$ となる（第 1 表）。

風化面における $W_c = R_{max} / R_s$ は風化していない新鮮面の $W_c = 1.07$ の値と比較することで、岩盤表面の風化状態を把握することができる。そこで L 型シュミットハンマーを用いて、波食棚上



第4図 風化部と未風化部におけるシュミットハンマー計測結果

の各地点 (B1 ~ B11) において、単打法と連打法による反発値を計測した。計測方法は新鮮面の計測法と同様に、5点を打撃する単打法と同一点を10回連続打撃する連打法で計測し、 R_s と R_{max} を求め、 W_c を算出した。

波食棚上の全計測地点の W_c 値は1.11 ~ 1.42の範囲を取り、新鮮面の値 $W_c = 1.07$ よりも大きい。これは波食棚上の岩盤表面が風化しており、風化による強度低下が起こっていることを示す。このことは、波食棚の砂岩表面に風化生成物が観察されたことと調和的である。

III まとめ

日南海岸いるか岬に発達するきのこ岩と波食棚上における岩盤強度と含水比計測により、波食棚の発達プロセスに関して以下のことがわかった。

- 1) きのこ岩を構成する砂岩の強度は波食棚上の強度よりも大きく、きのこ岩はロックコントロールによる残留地形である。
- 2) 波食棚における岩盤表面の含水比とその変

動、および岩盤表面強度の計測により、波食棚上の岩盤表面では、風化作用が卓越し、強度低下が起こっていることがわかった。したがって、いるか岬に発達している波食棚は、塩類風化の介在した侵食プロセスを持つことが示唆される。

本研究では、風化による岩盤強度の測定結果のみから考察を進めたので、今後、波食棚上の地形変化(侵食)量の測定をすることが望まれる。また、波食棚の形成・発達という長いタイムスケールの地形変化を対象とする場合には、海と陸の相対的運動の影響が絡み合うことはいうまでもない。特に、日南海岸のような完新世段丘が4段存在するような地殻変動(隆起)の激しい地域では、この問題が波食棚の形成プロセスの解明をきわめて困難にする。したがって、本研究の結果は、現在の波食棚には、風化が作用することが示されたが、このことから、研究対象とした波食棚が、離水波食棚の変形過程を示しているのか、あるいは、オリジナルな波食棚の発達過程を示しているのかを判断することはできない。近年で

は、原位置宇宙線生成核種年代測定によって、侵食地形の露出年代を知る方法がある（たとえば、若狭ほか，2004）。この方法は、地表面物質と宇宙線が反応することによって生成される原位置宇宙線生成核種（TCN）を利用するものであり、その地表面物質中の TCN 濃度を定量することにより、地表面が露出していた時間を推定することができる。このようにして得られた年代値は、地殻変動に関する定量的な変動量を利用して、波食棚と海面の相対的な位置関係を変動前の状態に復元して形成発達を考えることを可能にさせる。今後の検討課題としたい。

謝辞

野外調査にあたっては、阿部正洋君、小暮哲也君、宋 苑瑞さん、三橋美実子さんをはじめとする学生諸氏にご協力いただきました。また、本研究を行うに際し、平成 16 年度笹川科学研究助成金（財団法人日本科学協会）を使用した。記して感謝いたします。

文献

- 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**，18-36。
- 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**，43-62。
- 高橋健一・松倉公憲・鈴木隆介（1993）：海水飛沫帯における砂岩の侵食速度：日南海岸・青島の弥生橋脚の侵食形状。地形，**14**，143-164。
- 長岡信治（1986）：後期更新世における宮崎平野の地形発達。第四紀研究，**25**，139-163。
- 長岡信治・前杵英明・沖野郷子（1991a）：九州・パラオ海嶺の沈み込みと九州南東部の第四紀地殻変動。月刊地球，号外**3**，上田誠也教授退官記念論文集，167-173。
- 長岡信治・前杵英明・松島義章（1991b）：宮崎平野の完新世地形発達史。第四紀研究，**3**，41-46。
- 長岡信治・松島義章・前杵英明（1987）：宮崎平野南部の完新世段丘。日本第四紀学会要旨集，**17**，120-121。
- 前杵英明・長岡信治（1988）：宮崎県日南海岸の完新世海成段丘と離水波食地形。日本地理学会予稿集，**33**，54-55。
- 前杵英明（1992）：西南日本外帯南部の完新世地殻変動。第四紀研究，**31**，285-296。
- 町田 洋・太田陽子・河名俊男・森脇 広・長岡信治編（2001）：「九州・南西諸島」東京大学出版会，355p。
- 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**，175-196。
- 三位秀夫（1963）：海蝕と海水準について。海洋地質，**2**，8-17。
- 若狭 幸，松崎浩之，松倉公憲（2004）：原位置宇宙線生成核種年代測定法：侵食地形変化速度の解明への適用。地形，**25**，247-265。
- Bartrum, J. A. (1916): High water rock platforms: a phase of shoreline erosion. *Transactions of the New Zealand Institute*, **48**, 132-134.
- Bird, E. C. F. and Dent, O. F. (1966): Shore platforms on the south shore of New South Wales. *Australian Geographer*, **10**, 71-80.
- Gill, E. D. (1972): The relationship of present shore platforms to past sea levels. *Boreas*, **1**, 1-25.
- Gökçeoğlu, C. and Aksoy, H. (2000): New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses. *Engineering Geology*, **58**, 1-23.
- Hills, E. S. (1972): Shore platforms and wave ramps. *Geological Magazine*, **109**, 81-88.

- 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**, 571-613.
- Matsukura, Y. and Matsuoka, N. (1996): The effect of rock properties on rates of tafoni growth in coastal environments. *Zeitschrift fur Geomorphologie, N. F., Supplement Bd.*, **106**, 57-72.
- Matsukura, Y. and Takahashi, K. (1999): A new technique for rapid and nondestructive measurement of rock-surface moisture content: preliminary application to weathering studies of sandstone blocks. *Engineering Geology*, **55**, 113-120.
- Phillips, B. M. (1970): Effective levels of marine planation on raised and present rock platforms. *Révue Géographie Montreal*, **24**, 227-240.
- Sanders, N. K. (1968): The development of Tasmanian shore platforms. Unpublished PhD thesis, University of Tasmania, Hobart.
- Stephenson, W. J. (2000): Shore platforms: a neglected coastal feature. *Progress in Physical Geography*, **24**, 311-327.
- 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**, 43-56.
- Sunamura, T. (1975): A laboratory study of wave-cut platform formation. *Journal of Geology*, **83**, 389-397.
- Sunamura, T. (1978): Mechanisms of shore platform formation on the southern coast of the Izu Peninsula, Japan. *Journal of Geology*, **86**, 211-222.
- Sunamura, T. (1991): The elevation of shore platforms: a laboratory approach to the unsolved problem. *Journal of Geology*, **99**, 761-766.
- Sunamura, T. (1992): *Geomorphology of Rocky Coasts*. Wiley, New York, 302p.
- 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**, 387-394.
- Trenhaile, A. S. (1978): The shore platforms of Gaspé, Québec. *Annals of the Association of American Geographers*, **68**, 95-114.
- Trenhaile, A. S., Pepper, D. A., Trenhaile, R. W. and Dalimonte, M. (1999): Stacks and notches at Hopewell Rocks, New Brunswick, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, **23**, 975-988.
- Tsujimoto, H. (1987): Dynamic conditions for shore platform initiation. *Science Reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba*, **A8**, 45-93.
- Wentworth, C. K. (1938): Marine bench-forming processes-water level weathering. *Journal of Geomorphology*, **1**, 5-32.
- (2004年6月4日受付, 2004年9月8日受理)