

# 日本の温帯性ビーチロックの分布と特徴

田中好國  
(元兵庫県立播磨特別支援学校)

## 要旨

ビーチロックは、熱帯から亜熱帯のサンゴ礁の発達している潮間帯の海浜に多いといわれているが、九州やその周辺の島嶼、ヨーロッパや南アフリカなど非サンゴ礁地域の温帯性のビーチロックの報告も多い。ここでは、日本における非サンゴ礁地域の温帯性ビーチロックの分布を主に文献から調査し、その特徴について明らかにする。九州では今回新たに西九州や北九州の離島の海浜、大分県から宮崎県北部にかけての東九州の海浜、佐多岬の海浜に温帯性ビーチロックが存在していることが確認できた。日本の温帯性ビーチロックの特徴は、サンゴ礁地域のものとは比べると、規模が小さく成層構造が不明瞭で、明確な海方傾斜を示さず、周囲や背後の急崖からの構成物から成り、細礫から大礫の礫岩質が多く、礫岩ビーチロックの特徴を有しているといえる。また、形成年代も幅広いことがわかった。

## I はじめに

ビーチロックは熱帯～亜熱帯のサンゴ礁海岸に多く分布する(田中 1990; 檀上 2015)が、ヨーロッパではイギリスやイベリア半島、また最近では、ヨーロッパ地中海からも多くの報告がある。南半球でも S30°～38° 近辺からの報告があり、温帯域におけるビーチロックもよく知られ、比較的研究されてきたといえる(Vousdoukas et al. 2007; 田中 2017a)。

日本では、ビーチロックという地形用語が紹介されてから、琉球列島以外でも非サンゴ礁地域の南九州及び九州西方島嶼からいくつか報告されてきた(Yonetani 1963、そのほか; 橘 1964)。九州周辺では、東シナ海側の島嶼での発見例が多かった(松岡 1993)が、1994年に初めて東側の大分県屋形島でも報告(三浦・千田 1994)され、その後四国(千葉 1997)のビーチロックも報告され、最近になり宮崎県北東部にもいくつかの地点でその存在が確認された(田中 2017a)。

このように、従来日本ではビーチロックの 93～95%は亜熱帯のサンゴ礁地域に分布する(田中 1990; 檀上 2015)といわれてきたが、最近になってインターネットを活用した文献検索によって、九州及びその周辺島嶼におけるビーチロック関係の文献の所在が次々に判明してきた(田中 2016、2017b)。これによって、すでに明らかにされてきた琉球列島のサンゴ礁地域におけるビーチロックの分布と特徴(高橋・木庭 1980; 田中 1986、1990; 河名 2003; 小

元 2005、2016)に加えて、とくに九州及びその周辺地域における温帯域のビーチロックの分布も明らかにすることができるようになった。

そこで、ここでは現時点における温帯域のビーチロックについて、現地調査の結果もふまえ、ビーチロック関係の文献調査をもとにして、日本の温帯性ビーチロックの分布と特徴を明らかにすることを目的として報告する。

## II 日本の温帯性ビーチロックの分布

### 1 世界のビーチロックの分布

最近の世界におけるビーチロックに関する総合的な研究としては、欧文では Vousdoukas et al. (2007)、Gischler (2007)、Danjo・Kawasaki (2014a)らの報告があり、和文では檀上・川崎 (2012)、檀上 (2015)のものがある。これらの諸報告のうち、前二者は外国の研究事例のみを網羅したものであり日本の事例は含まれていない。それに対して、後三者のものは外国と日本の両者の研究事例を豊富に含んでいるという特色がある。

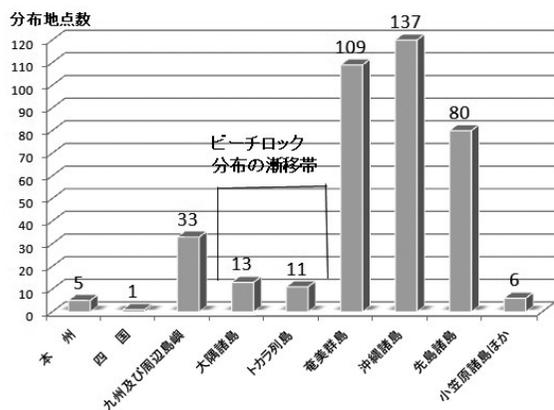
これらの論文の中には、世界におけるビーチロックの分布図や記述が詳細に掲載されているものもある(Vousdoukas et al. 2007; 檀上・川崎 2012; Danjo・Kawasaki 2014a)。そのうち Vousdoukas et al. (2007)は、世界のビーチロックの緯度的な分布数や潮位別の分布数、年代別の分布数なども図示した。それらによると、緯度的分布のピークは 20～

30° および 30～40° のゾーンであり、分布する場所の潮位幅は 0～1m の範囲が最多で、年代は 1k～5k years のものが多い。そして、分布密度が高い地域を“hot spot”と呼び、地中海、カリブ海、熱帯から亜熱帯の大西洋岸、太平洋およびインド洋の環礁をあげている。

一方、檀上・川崎 (2012)、Danjo・Kawasaki (2014a)、檀上 (2015) らは、外国と日本のビーチロックの地点数を図示し、世界に分布するビーチロックは北緯 40 度～南回帰線の範囲内に 90% があると述べている。さらに、日本を除くと多くのビーチロックが集中している地域は Aegean (A)、Southern India (B)、Great Barrier Reef (C)、West Indies (D)、Eastern Brazil (E) の 5 地域であるとし、最北端のものは Scotland (N57 度 40 分)、最南端のものとしては South Africa (S30 度 15 分) をあげている。しかし、アルゼンチンの論文 (Aliotta et al. 2009) から最南端のものは Bahía Blanca estuary のビーチロック (S38 度 58 分) と考えられる。

## 2 日本列島におけるビーチロックの分布

今回、現在までに日本国内で報告されているビーチロックの分布と性状に関する文献をもう一度整理し、またインターネットを活用して各地のビーチロックに関する文献も収集し、国内のビーチロックの分布地点をすべて調べ直した。収集して見直した文献は、1960 年代初頭のものから 2017 年までのものなので、現在ではすでに消失していると思われるビーチロックも多いが、その結果、国内では 395 地点ほどにビーチロックがある (あった) ことが判明した



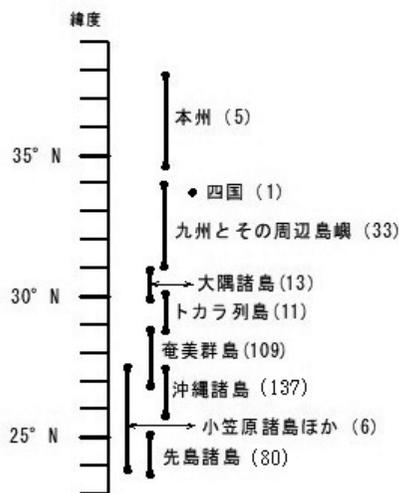
第1図 各地域別のビーチロックの分布地点数

(第1、2図、第1表)。

ビーチロックは前述のように、日本では 93～95% がサンゴ礁地域に分布するといわれてきたが、今回温帯域のビーチロックの分布が明らかになったことで、亜熱帯地域 (大隅海峡以南の地域) の海浜において所在を文献で確認できたビーチロックは 356 地点、温帯域のビーチロックは 39 地点で、亜熱帯地域のビーチロックの分布比率は約 90.1% となった (第1表)。これは従来指摘されていたより比率が約 3～5% 低下したことになるが、ビーチロックの分布密度の差は大隅諸島とトカラ列島を漸移帯として、そこより南側で急激に増えている。これは、

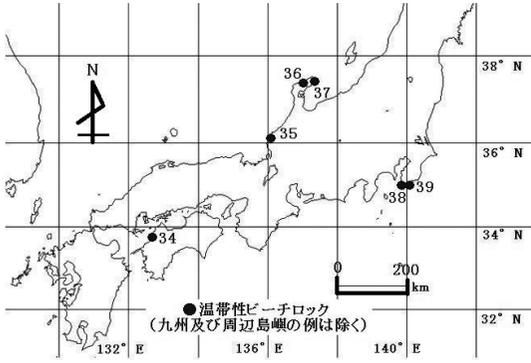
第1表 亜熱帯地域のビーチロックの分布比率

地域	分布地点数
本州	5
四国	1
九州及び周辺島嶼	33
大隅諸島	13
トカラ列島	11
奄美群島	109
沖縄諸島	137
先島諸島	80
小笠原諸島ほか	6
B R の分布地点合計	395
大隅海峡以南の BR の分布地点数比率	90.1%



注) 地域名後の ( ) 内はビーチロックの分布地点数

第2図 日本のビーチロックの緯度別分布数



第3図 四国・本州の温帯性  
ビーチロックの分布地点

気温・水温が高いばかりでなく、海浜にサンゴ礁性の生物性碎屑物の物質が多くなることがビーチロックの形成に重要な要素となっている可能性を指摘できよう。

また、日本のビーチロックの分布を緯度軸で地域ごとに示すと、第2図のようになる。現時点で、最北端に位置するのは、能登半島珠洲市粟津のビーチロック (N 37度 28分 47.8秒、東ほか 1982) であり、最南端のものは波照間島ペムチ浜 (N 24度 2分 53秒、小元 2014) のものである。前述のように、世界のビーチロックは北緯 40 度～南回帰線の範囲内に 90%があるといわれるが、日本国内のビーチロックは、北緯約 38 度から約 24 度の範囲にあるのでこの指摘にすべて当てはまる。

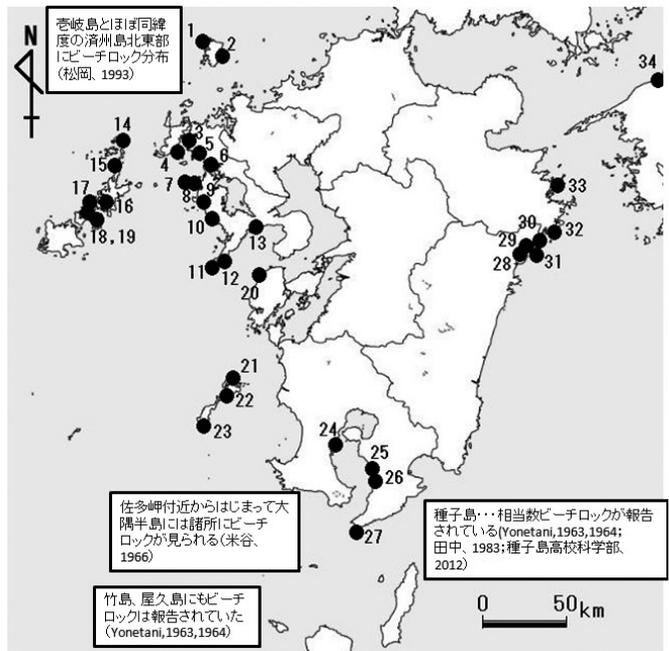
この第2図からは、ビーチロック分布の漸移帯である大隅諸島・トカラ列島帯より高緯度の温帯性ビーチロックの方が緯度幅が広く (広域) 分布していることが読み取れる。また、漸移帯より低緯度側では、ほぼ N 29 度から 24 度までの 5 度の緯度ゾーンに 332 地点のビーチロックが集中 (亜熱帯の地点のうち 93.3%が集中) していることもわかる。この 5 度ゾーンは、Vousdoukas et al. (2007) の唱えたビーチロックの “hot spot” や檀上・川崎 (2012)、Danjo・Kawasaki (2014a) が報告した 5 つの集中地域にも劣らない世界的に見てもビーチロックが集中している地域といえよう。

第3図は、九州及びその周辺島嶼を除いた温帯性ビーチロックの報告された地

点を示している。図中の 34 は現時点で四国唯一の愛媛県伊予市森海岸のビーチロック (千葉 1997 ; 田中ほか 2016)、35 は福井県越前海岸 (東ほか 1982)、36 は石川県輪島市 (小笠原ほか 2004)、37 は石川県珠洲市粟津海岸 (東ほか 1982) のものである。

太平洋側では、房総半島の館山市神戸海岸で武永 (1965) がビーチロックの破片を発見しており、その存在が期待されていたが、38 の同市塩見で + 1 m の離水ビーチロックが発見された (菅沼 1979)。また、同所よりやや南の 39 千倉において + 10m 付近に位置しているビーチロックの報告もある (吉川ほか 1973)。この九州以北の温帯性ビーチロックの地点数は、武永の発見した破片例を除いて 6 地点となる。

また、九州及びその周辺島嶼のビーチロックの分布地点を示すと第4図のようになる。前述のように、インターネットによる文献検索・収集、また現地調査を行った結果、九州及び周辺島嶼におけるビーチロックの分布が明らかになってきた (田中 2017b)。とくに、西九州における離島での事例 (松岡 1993)、宮崎県北部海岸地域での事例 (田中 2017a) により、九州近辺の分布状況がはつきりしてきたといえる。この第4図からは、まだビーチロックの分布の空白域が読み取れるので、熊本県や鹿児島県の未調査の有人島や無人島にビーチロックが存在している可能



第4図 九州及び周辺島嶼のビーチロックの分布地点

性は大きいと思われる。

また、琉球列島では竹島から南西端の与那国島まで、ビーチロックの分布する各島では1～数十地点にビーチロックが分布している。しかし、各島嶼によって分布密度にかなり差がみられるようであるが、全体的に南に位置する島嶼の方がビーチロックの分布地点数は多いようであるといえる。各島嶼群のビーチロックの分布地点数をまとめてみると、第2表のようになる。奄美群島で島嶼数に比べるとビーチロックの分布地点数が多いのがわかる。これは、奄美大島で43地点、徳之島で17地点、沖永良部島で22地点、与論島で21地点に分布しているからであるが、その理由として、よく研究されていたこととあまり海岸部の開発が行われずに残存していることなどがあげられよう。

第2表 琉球列島のビーチロックの分布地点数

島嶼群の名称	BRの分布する島嶼数	BRの分布地点数
大隅諸島	3	13
トカラ列島	6	11
奄美群島	6	109
沖縄諸島	20	137
先島諸島	15	80
小笠原諸島ほか	4	6

それに対して、沖縄諸島ではかつて沖縄島には約60地点でビーチロックの存在が指摘されていた(目崎1982)が、現在では開発等によってかなりの数のビーチロックが消失していると思われる<sup>り</sup>。しかしながら、長崎島の離島調査(松岡1993)によって第4図に示されるように多くの無人島で温帯性ビーチロックが発見された例もある。沖縄県には1ヘクタール(100 m×100 m)以上の島嶼は160あり、有人島が49、無人島は111ある(沖縄県Web「離島の現況」2017)。第2表のように、沖縄県のビーチロックの分布する島嶼数は有人島・無人島合わせて35島しかないので、今後ビーチロックの分布調査を行えば、その地点数や分布島嶼数はまだかなり増えるものと予想される。

そう考えれば、第1表で日本の亜熱帯性のビーチロックの割合を90.1%と述べたが、新たに沖縄県で発見されればやはり93～95%程度の比率になるのではないと思われる。

なお、ここでいう“温帯性(礫岩)ビーチロック”とは、松岡(1993)によれば、サンゴ礁が直接生成に関与しない、サンゴ礁構成物を主としない非サンゴ礁起源の現地性の構成物を主とする大隅海峡以北のもので、構成物は海浜の種々の大きさの礫からなり、礫岩質ビーチロックの特徴を示す、というものである。

### 3 温帯性ビーチロックの分布

日本の温帯性ビーチロックの分布は、前掲の第3・4図に示されるとおり39地点である。両方の分布図を見ると、それぞれの分布地点はかなり離れているように見えるが、それでもある程度集中して分布していると思われる地域もある。例えば、能登半島(2地点)、房総半島(2地点)、九州の西海地方の海岸・島嶼(18地点)、甌島列島(3地点)、九州南部の鹿児島湾岸(4地点)、東九州大分県南部～宮崎県北部(6地点)などでは比較的集中しているように見える。このように考えると、四国西岸地域にももう少し温帯性ビーチロックが存在しているかもしれない。

この温帯性ビーチロックの分布する地域は、サンゴ礁性の生物遺骸を中心とする砕屑物(海浜堆積物)がほとんどない海浜なので、亜熱帯性(サンゴ礁性)ビーチロックと異なり、その分布地点(地域)特有の条件(成因・形成機構)下でビーチロック形成が行われてきたのではないかと予想される。今回の文献等の調査では、海水からの炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)の沈殿や地下水の影響、微生物の作用などがしばしば指摘されている。これらの点は、ビーチロックの形成機構を考えるうえで非常に重要なことではないかと思われる。

### III 九州及び周辺島嶼の温帯性ビーチロックの性状

かつて、筆者は日本のビーチロックの分布と年代をまとめ、温帯域のビーチロックについてもその当時の資料をもとにして報告した(田中1986)。また、四国伊予市森海岸のビーチロックについても現地調査後に概要を発表した(田中ほか2016)。とくに前者の報告の中には、南九州、西九州奈留島や甌島列島、北陸、房総半島のビーチロックについてもそれぞれの先行研究の結果から概要について記載した。

そこで、ここでは上記2資料や全国誌に既に収録

されている例（四国、九州奈留島・甕島・北陸・房総半島）を除き、北九州、長崎県中心の西九州の離島、宮崎県北部中心の東九州、また輪島市のビーチロックの性状についてまとめることにする。なお、ビーチロックの地点番号は、第3・4図の番号と一致する。

## 1 九州北部の温帯性ビーチロック

### 地点1：壱岐島北西部勝本

この沿岸にビーチロックがあることを松岡（1993）が西村（1970）の文献を引用して記載しているが、筆者は西村の原本を未読なので詳細は不明である。

### 地点2：赤島

松岡（1993）によると、壱岐島南部の内海にある、東西0.43km、南北0.3kmで南側に湾入部をもつ赤島の南西部の干潟にビーチロックが露出している。約21m×10mの範囲で、潮間帯に位置しているが低潮位面より2mほど高い。基質は淘汰が悪く、粗粒砂から細砂で貝殻片を多数含み、固結度はかなり低い。構成礫種は最大径10数cmの玄武岩亜角礫、きわめてまれに珪質砂岩の小礫を含む。これらは、玄武岩溶岩に介在する礫岩からもたらされたと推定される。

また、壱岐島とほぼ同緯度の東シナ海上にある大韓民国の済州島にもビーチロックがある（松岡1993）。これは、島東部の景勝地、城山日出峰（Songsan Ichulbong）付近の潮間帯に約20m×50mの範囲に露出し、径1cmほどの玄武岩の小円礫と二枚貝や巻貝の破片を主としている。固結は非常に進行している。

## 2 西九州の温帯性ビーチロック

### 地点3：戌島

九十九島の一つである東西・南北とも約250mの長さの島である。南端に干潮時に本島と礫州で連結する陸繋島がある（松岡1993）。

松岡（1993）によれば、ビーチロックは戌島の南端より小島に伸びる礫州上にあり、干潮時にのみ約15m×15～27mにおよんで露出する。含有礫は島の構成岩石と同じ砂岩の亜角礫～円礫で、亜角礫は長径20cm～50cm、円礫は数cmである。円礫は礫州形成の際に他所から運搬されたと推定されている。基質は薄い茶褐色の石灰質で、固結度は低い。

### 地点4：上枯木島

この島は平戸島と九十九島との間に位置し、単調

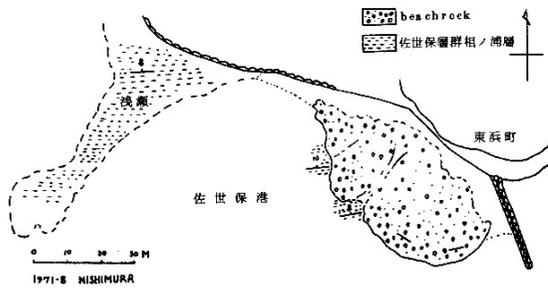
な海岸線を持つ全周約0.43kmの小島で、地質は閃緑ひん岩である。ビーチロックは島の西岸にあるが巨礫の転石群に覆われ分布範囲は不明である。干潮時に露出し、淡黄褐色の石灰質の基質で膠結され、背後の崖から供給された最大径10数cmの亜角礫ないし亜円礫の閃緑ひん岩を主要な構成物としているが固結度は低い（松岡、1993）。

### 地点5：前島、地点7：無田島、地点8：御床島

これらは、地点12：脇岬、地点17：奈留島、地点20：天草曲崎という他の研究者が調査を行った地点とともに寺田・松田（2000、2001）が温帯域のビーチロックの成因を研究した地点である。ただ、個別の地点についての詳細な説明はなされていない。そこで、ここでは全体的な説明を寺田・松田（2000、2001）の記述から転載する。

温帯域のビーチロックの大部分は、砂州・砂嘴・トンボロ地形のような砂体の両側に海水がある海浜に多くみられ、その構成粒子は海浜を構成する粒子と同質の細～大礫サイズの非炭酸塩粒子からなる。礫間には、岩片・生物遺骸片・細粒碎屑物からなる基質を伴い、セメントはこの基質を構成する細粒碎屑物の微小孔隙中に散在する。セメントの結晶径は主として1～10 $\mu$ m程度のミクライト状であり、まれに剣状の結晶形態を示す。基質部の炭酸塩含有量は46.5～68.6%であり、固結度の高い上部ほど炭酸塩含有量は高い。したがって温帯域のビーチロックでは基質中の微少孔隙にこのミクライト質セメントが晶出することにより、基質の固結度が高まった結果、形成されたと考えられる。構成する炭酸塩鉱物は主として高Mgカルサイト（HMC）であり、低Mgカルサイト（LMC）とアラゴナイト（Ar）を伴う。このHMC中のMg含有量は、10.7～16.5mol%で、炭酸塩含有量と同様に上部ほど高い傾向がみられる。また彼らは、日本で初めてビーチロックのセメントを構成する炭酸塩鉱物の炭素・酸素安定同位体比を測定している（田中2017a）。その値はそれぞれ、 $\delta^{13}\text{CPDB}=1.24\sim 1.84\%$ 、 $\delta^{18}\text{OPDB}=-0.95\sim 2.05\%$ であり、ビーチロックを構成するセメントの生成温度や形成について考察している。このことについての詳細は、寺田・松田（2001）、田中（2017a）を参照されたい。

### 地点6：東浜（第5図）



第5図 東浜の礫岩ビーチロック (西村1972による)

西村(1972)によれば、佐世保市東浜海岸の佐世保層群相ノ浦層(走行NS~N80°E、傾斜8°N)の砂岩上を覆ってビーチロックがある。潮間帯に位置し、周囲の海岸にある礫を含み、海方へ10度以下の緩やかな傾斜をしている。面積は1,300m<sup>2</sup>、厚さは最大で50cm程度、石灰質の量は脇岬より少ないと言われる。

地点9：西浜、地点10：研石が浜

服部ほか(1993)の地質調査によると、大瀬戸町西浜、外海町研石が浜の海岸にごく小規模にビーチロックのあることが観察されているが、地質図上に表現できる分布範囲ではないので詳細は省略され、不明である。

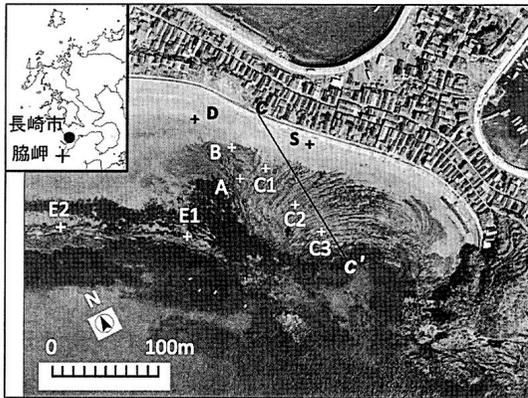
地点11：野母港入口

つぎの12脇岬のビーチロックとともに土地分類基本調査(長崎県1995)に記載されている。野母港入口の南側では、延長約150mにわたってビーチロックが発達し、主として結晶片岩の大礫が石灰質で膠結されている。

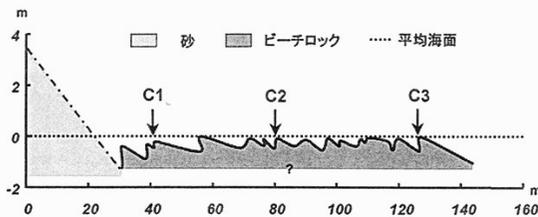
地点12：脇岬

ここは、五島列島の17奈留島同様、よく調査され、土木工学者による海浜変形調査(田中ほか2010)、前述の寺田・松田(2000, 2001)の安定同位体比測定調査、小元らのビーチロックの<sup>14</sup>C年代及び $\delta^{13}C$ 測定や形成過程に関する調査が行われてきた(小元・伊藤2006、2016a、2016b)。なお、脇岬のビーチロックは、平成17年1月に長崎県指定天然記念物に指定されている<sup>2)</sup>。ここでは、主に小元・伊藤(2016a、2016b)の報告をもとに脇岬ビーチロックの特徴について述べる。

ビーチロックは脇岬海岸南東部の砂浜に沿って長さ約350mにわたるものと、約140~180m沖合に海岸線に沿って細長く帯状に分布しているものがある。



第6図 断面測量の位置と試料採取地点 (小元・伊藤 2016bによる)



第7図 脇岬ビーチロックCの模式断面図  
図中のC1、C2およびC3は側線上ではないが、年代測定試料採取地点の概略位置を示す。  
小元・伊藤(2016b)による。

第3表 脇岬のビーチロックの特徴、採取試料の諸元(小元・伊藤 2016aの表1・2を筆者が一部合併)

区分	長さ m	幅 m	分布標高 m	走向 度	傾斜 度	粒径 mm	備考	採取 地点	<sup>14</sup> C試料 Lab.Code	$\delta^{13}C$ ‰	Med. Cal BP
A	95	40	-0.2~-1.3	N20E	5~10E	1~25	50cm礫有	A	NU-1759	2.4	1,428
B	70	19	-0.2~-1.3	N14W	10E	1~10	5cm礫有	B	NU-1760	1.9	1,937
C	170	120	0.6~-1.2	N10~40E	4~10W	1~30	50cm礫有	C1	NU-1761	1.3	1,735
								C2	NU-1762	2.2	4,623
								C3	NU-1763	2.8	5,689
D	34	8	-0.7~-1.3	N25W	16E	1~30		D	NU-1764	3.4	591
E	>200	>30	-0.9~-1.7	N60~40W	5~10W	1~20	5~10cm礫有	E1	NU-1765	3.0	4,560
								E2	NU-1766	3.4	5,066

ビーチロックは標高 0.6 ～ 1.7 m に位置し、その大半は干潮時に干出し、粒径 1 ～ 30mm の砂や礫（最大 50cm の巨礫を含む）が泥質堆積物により膠結されて礫岩状を呈し、厚さ 10 ～ 30cm の層理が累重している。礫種は周辺から供給された黒色片岩、緑色片岩、石英、変質斑糲岩、蛇紋岩などで構成されている。ビーチロックは走向傾斜が場所により異なり、その組み合わせと堆積状態により A ～ E に区分されている（第 6 図）。A ～ E のビーチロックの特徴と採取試料の  $\delta^{13}\text{C}$ 、較正年代の平均値は第 3 表に示される。小元・伊藤（2016a、2016b）はこれらの地形的特徴や  $\delta^{13}\text{C}$  値、年代測定値からこのビーチロックの形成年代（小元・伊藤 2016a）を推定している。

これによると、砂礫を膠結している泥質堆積物の  $\delta^{13}\text{C}$  が +1.3 ～ +3.4‰ の範囲なので、泥質堆積物の  $\text{CaCO}_3$  の大部分は海水から供給されたと推定している。この範囲の値についての解釈は筆者の推定と矛盾しない（田中 2017a）。また、ビーチロックは C 3、E 2、C 2、E 1、B、C 1、A、D の順に形成された可能性を示している。さらに、この海岸では、6,000calBP ころ海水準はほぼ現在と同じで、5,700calBP 以降は顕著な変動はなく、沈水ビーチロックについてはやや低い海水準で形成されたと推定している。

また、ビーチロックは陸側が古く、海側に向かい新しくなる（小元 2005）のが一般であるが、C の年代配列の矛盾（陸側 C 1 から海側 C 3 に向かい古くなる）についても地形的特徴から試案を提示している。低潮時にプールとなって滞留する海水が強烈な日射で蒸発すれば  $\text{CaCO}_3$  濃度が高まり、その沈澱で砂礫が膠結されると予想している。すなわちビーチロック C のように汀線側から内陸側まで標高に大きな差異がない場合（第 7 図）、通常と相反するビーチロックが形成される可能性を示している（小元・伊藤 2016 b）。

#### 地点 13：下釜

諫早市南部の下釜海岸に礫岩ビーチロックが江の川河口付近に分布している（第 8 図、西村・坂口 1988）。固結はあまり強くないが、中から土器片と転石であるが花崗岩でつくられた磨製石器が発見されたがそれぞれの年代についての記載はみられない。貝殻片を多く含む部分があり、土器片もこの位置か



第 8 図 江の川河口付近のビーチロック  
（西村・坂口 1988 による）

らだけに採集されていて貝塚と推定されている。そうすると五島列島奈留島のビーチロック（橘・坂口 1971）と年代的にはほぼ同じと考えることができそうである。

#### 地点 14：宇久島東部の大浜

この島で代表的な砂浜で、有孔虫を含む貝殻片に富んでいる。大浜凝灰方礫岩層を覆って、海浜近くでは厚さ約 30cm のビーチロックが見られる（松井 1990）。

#### 地点 15：南松浦郡曾根郷赤ダキ断崖下

五島列島中通島北部の曾根崎南の赤ダキと呼ばれる断崖下に 3 か所の海食洞があり、その中央の海食洞の底によく円磨された花崗岩やひん岩の円礫が集まって互いに膠結されてビーチロックとなっている（鎌田 1982）。

#### 地点 16：ヤク丸島

この島は五島列島の中通島と南にある若松島との間、若松瀬戸のほぼ中央にある。松岡(1993)によると、最高標高約 37m、全周約 0.7km、北西から南東に延び、長径約 300m、短径約 106m のほぼ楕円形をなす。南東端に、満潮時に水没する礫浜と波食台がある。地質は淡茶褐色の砂岩と泥岩の互層および石英斑岩を主とする。

ビーチロックは、南東端の砂・泥岩層の小規模な波食台と礫浜に、約 10m × 5m の範囲で露出している。ここで最大径 20cm ほどの砂岩や石英斑岩の亜角礫が茶色味を帯びた乳白色の石灰質の物質で膠結されている。礫の淘汰は悪く、大小の礫が含有され、摩擦も進んでいないので干潮時に現れる基盤から供給され、運搬されていないと考えられる。固結度は比較的高い。

#### 地点 18：蕨小島

五島列島久賀島の中央部のすぐ近くにあり、干潮

時には久賀島と礫質干潟でつながる。松岡 (1993) によれば、北西から南東方向に延びる細長い島 (約 650m × 200m) で、海岸は岩石質で、満潮線に波食台があり、西と南東端にごく狭い礫浜 (幅 5m) が形成されている。地質は花崗閃緑岩ないし花崗岩で構成されている。

ビーチロックは南東端の礫浜の潮間帯にあり、花崗岩類を基盤にして約 10m × 5m にわたり分布している。その背後には比高数mの海食崖がある。構成礫種は約 20cm 径ほどの花崗岩類の亜円礫が主であるが、径約 70cm 以上の巨礫も含まれている。これらの礫は背後の崖から供給され、ほとんど移動していないと考えられている。固結度は低く、礫間を充填している石灰質の基質は乳白色で粗粒砂を含んでいる。

**地点 19 : 末津島**

五島列島の奈留島と久賀島との間の奈留瀬戸南部にある南北に延びる細長い本島 (約 300m × 95m) とその南にある属島 (約 138m × 55m) からなる。干潮時には北方の前島と約 180m にわたる礫質干潟で連結される。北東部には礫浜があるが、他は岩石海岸である。干潮時に現れる礫質干潟は花崗岩質閃緑岩や砂岩の巨礫から大礫が散在している。

ビーチロックは、礫質干潟にあり、狭い範囲 (数 m) にみられる。構成礫は砂岩や閃緑岩の亜円礫で、淘汰は悪いが、膠結されている礫の最大径は 20cm ほどであるが、周囲には 1m にもおよぶ巨礫もある。礫種は末津島と変わらないが、摩耗が多少進行しているのである程度供給地から運ばれてこの場に堆積したのちにビーチロックを形成するようになったと考えられる。これらの礫は茶褐色の石灰質膠着物で膠結されているが、固結度は低いといわれる (松岡 1993)。

**3 南九州の温帯性ビーチロック**

鹿児島湾岸には数地点でビーチロックの分布が認められていた (田中 1986)。

**地点 27 : 佐多岬**

鹿児島湾東岸南部では、佐多岬でビーチロックが形成されている (鹿児島県、2004)。しかし、詳細な内容はいまのところ不明である。

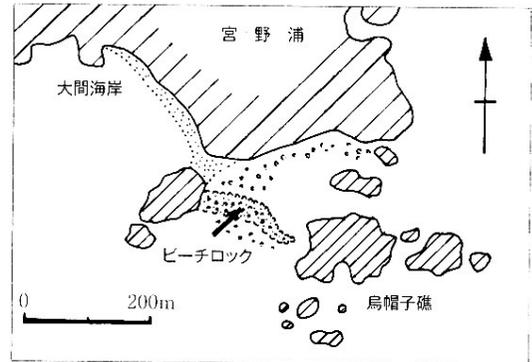
**4 東九州の温帯性ビーチロック**

**地点 28 : 下阿蘇北、同南**

宮崎県延岡市北東部北浦町にあり、比較的出入りの多い海岸線がこの地域から大分県にかけて続いている。その湾入部に小規模な砂礫質の海浜が見られ、下阿蘇浜の北部と南部に生物礁的な砂礫を伴った礫岩層があることを地元の方から聞いたが、潮位の関係で確認はできなかった。

**地点 30 : 大間海岸**

下阿蘇から少し北方の宮之浦半島の大間海岸にも低潮時に礫岩層が見られる (第 9・10 図)。これは、



第 9 図 大間海岸のビーチロックの位置 (青山 2014 による)



第 10 図 大間海岸の礫岩ビーチロックの写真 (青山 2014 による)

青山 (2014) によって報告されているもので、宮崎県で最初に報告されたビーチロックである。

青山 (2014) によると、ビーチロックは陸から約 80m 離れた岩礁から東南東に幅 20m、長さ 100m 伸び、次に南東へ幅 10m、長さ 35m 伸び、さらに東南東に 5m、長さ 30m 伸び、鳥帽子礁の手前まで続いている。層厚は 20 ~ 40cm、陸側が厚く堆積し、礫は細礫から巨礫まで含まれ、砂岩、頁岩、粘板岩、千枚岩、珩岩などからなる。礫のセメント物質は希塩酸で発砲するので、CaCO<sub>3</sub> によって膠結されている。この

大間の沖合には**地点 29**：高島という無人島があり、ここにも大間のビーチロックや有人島である**31**：島浦島ビーチロック（田中、2017a）と同じような礫岩ビーチロックがあるとされている（2017年5月の聞き取りによる）。

**地点 31**：島浦島、**地点 32**：屋形島、**地点 33**：蒲江

これらの地点にも礫岩ビーチロックが報告されている。島浦島のビーチロックについては、田中(2017a)の報告がある。屋形島、蒲江のビーチロックは東九州で最初に報告されたもので三浦・千田（1994）に詳しい。また、青山（2014）は、屋形島のビーチロックにボルトが含有されていることを紹介し、近年の形成であることを示唆している。

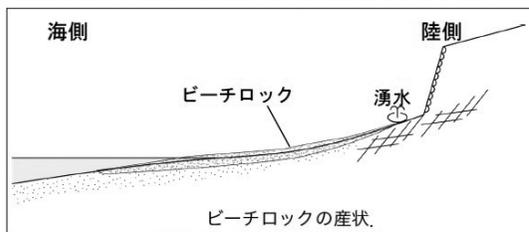
### 5 本州の温帯性ビーチロック

四国で最初のビーチロックの概要については、田中ほか（2016）の報告があるので、ここでは従来地理関係誌で紹介されていなかった能登半島輪島市曾々木海岸のビーチロックについて記載する。

**地点 36**：曾々木海岸

曾々木海岸の三ツ子浜の海岸沿いの約500mの範囲にビーチロックが点在している。ここでは、海岸の砂や礫、漂流物等が固化した状態で、礫主体の塊状のビーチロックと温帯性ビーチロックには珍しい砂主体のビーチロックが見られる（小笠原ほか2004）。

ビーチロックの形成場所としては、第11図のように潮間帯の範囲内で海側に緩傾斜した分布を示す。プラスチックやガラス片、鉄鎖など現世を示すものが多数含まれ、この数十年以内で形成されたことが判明している。また、一部ビーチロックの分布域周辺の山地側からの湧水が認められ、湧水がビーチロック



第11図 曾々木ビーチロックの産状  
(小笠原ほか2004)

ク形成と深く関与していると考えられている。

この曾々木ビーチロックについては、その成因・形成過程を明らかにし、さらに工学的な性質を土木

工学分野へ応用する視点での考察が行われた（小笠原ほか2004）。その後、この研究はわが国で初めてビーチロックの工学的性質を実験によって明らかにした点で、地盤工学関係者に大きな影響を与えた（例えば、北海道大学の川崎グループ）。

ここで、彼らが明らかにした工学的性質、セメント成分について概観してみよう。ビーチロックが海岸砂を固化させていることに着目し、工学的性質を知るために物理および力学試験を行い、その結果は第4表に示される。海岸砂とビーチロックを比較すると、間隙率が10%ほど減少した分、密度が増加し、透水性が2桁ほど小さくなり、一軸圧縮強度が発現している。

また、電子顕微鏡観察により円磨された砂粒子の表面を干裂の発達したセメント物質が皮膜状に覆っている。そのセメント成分をEPMA分析すると、セメント物質はSiとAlが多量に含まれ、石灰成分であるCaはほとんど含まれていなかった。サンゴ礁地域のビーチロックは、セメント物質がHMC、Arなどで構成されることが多い（IVの2参照）のと比べると大きな違いがあることが報告された。

さらに、この結果から、後に沖縄と輪島の試料を用いた工学的実験研究が次々に報告され、後述のように温帯性ビーチロックと亜熱帯性ビーチロックの形成機構の違いも提唱されている（檀上・川崎2013：Danjo・Kawasaki2014b；檀上2015）。

最後にビーチロックの応用への工学的展望として、ビーチロックは自然現象によって海岸の砂が固化した「天然のグラウト」で、工学的特徴として、以下の諸点をあげている（小笠原ほか2004）。

- ① 透水性が低下している、
- ② 圧縮強度が発現している、
- ③ ビーチロック形成後、浸食に耐えている。

第4表 曾々木ビーチロックの工学試験結果

項目	単位	海岸砂	BR
湿潤密度 $\rho_t$	g/cm <sup>3</sup>	1.546	1.966
乾燥密度 $\rho_d$	g/cm <sup>3</sup>	1.479	1.615
間隙率	%	49.19	44.51
一軸圧縮強度	kN/m <sup>2</sup>	—	6010
$q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )			60
透水係数 (締固め)	cm/s	$3.4 \times 10^2$	$7.4 \times 10^{-4}$

(小笠原ほか2004)

#### IV 温帯性ビーチロックの諸特徴

##### 1 温帯性（礫岩）ビーチロックの一般的特徴

松岡（1993）は大隅海峡を境として、それより以北ではビーチロックが少なくなり（田中 1990）、サンゴ礁が北緯 30 度以南に発達することから、大隅海峡以北のビーチロックはサンゴ礁が直接的に生成に関与しない温帯性（礫岩）ビーチロックであると考えた。

長崎県の無人島調査による各島のビーチロックの観察結果から、松岡（1993）はそれが形成されるために必要な条件と過程を以下のように考えた。

- ① 主要な構成要素である礫（しばしば摩耗度が低い）が存在すること、
- ② 礫間をつなぎとめる石灰質の膠結作用が働くこと、
- ③ 形成された後も潮間帯に位置し続けること。

一般に、海浜のサンゴ礁構成物を主とする熱帯、亜熱帯の砂～砂礫質ビーチロックはほぼ海岸線に平行して潮間帯に発達していることが多い（河名 2003）。これに対して、長崎県の温帯性礫岩ビーチロックは、周辺の既存の地質帯から構成礫が供給される場合が多く、海食崖の前面の海浜では、ビーチロックの礫サイズを問わず、摩耗の進んでいない亜角礫であり、州のような場では亜円礫から円礫であった。これは礫の供給地からの距離を反映しているといわれる（松岡 1993）。

また、琉球列島中部の渡嘉敷島、阿嘉島、渡名喜島などの、非石灰岩地域の海岸沿いの緩斜面に多数の礫岩ビーチロックが分布していることが認められている（河名 2003）。これらは、海面低下に伴って拡大した海浜部へ背後の海食崖から礫が供給され、その後固結した礫岩ビーチロックとなったと推定され、構成礫がやはり周辺からもたらされてきたことがうかがわれる。

温帯性礫岩ビーチロックの分布場所を考えると、前掲の第 11 図のように、急崖（海食崖）の前面の緩斜面である海浜（例、前掲の長崎県の離島の例、宮崎県北浦町大間、四国伊予市森など）、また脇岬や長大な長さをもつ上甕島長目の浜（荒巻ほか 1976）のような礫浜や礫州上（例、前掲の長崎県の離島の例、五島列島奈留島、大分県屋形島、宮崎県島浦島日井

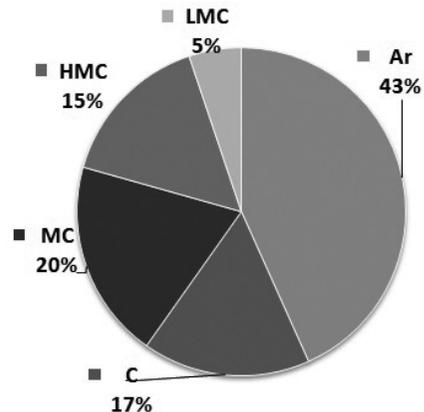
の浜など）であると思われる。

礫岩ビーチロックは非石灰岩の礫が構成物となっているので、礫の供給に次いで石灰質などの膠結作用が必要である。これについて長崎県の無人島の例では、礫の間で膠結している  $\text{CaCO}_3$  は大部分が有孔虫や軟体動物などの生物起源と考えられている（松岡 1993）。これは温帯性礫岩ビーチロックにこれらの生物遺骸が多数含まれているからである。生物遺骸が多い例としては、屋形島、蒲戸、下阿蘇もあげることができよう。

温帯性礫岩ビーチロックは、上述のように、崖の前面の礫浜や礫州、礫の供給源の近いポケットビーチなどに多いといえる。亜熱帯性の砂質ビーチロックと比べると、構成物のサイズ以外に、ミクロケスタを呈さないことが多い、明瞭な海方傾斜を示さず、数枚の成層構造も示すことも少なくコンクリートを流したような盤状で中～大礫を含有している場合が多いといえる。

##### 2 ビーチロックのセメント物質

砂粒間（礫と礫の間）を充填するセメント物質については、従来から外国ではアラゴナイト (Ar)、Mg カルサイト (MC、高 Mg カルサイト<sup>3)</sup> HMC を含む)、カルサイト (C)、また低 Mg カルサイト (LMC) などが報告されてきた (Goudie2006; Gischler2007; Vousdoukas et al. 2007 など)。最近では、一般的なセメントタイプとしては Ar、HMC が多く、C は比較的少なく（代表者は Russell1962）、LMC も少ない (LMC は温帯性ビーチロックに多



第 12 図 ビーチロックのセメントタイプ (Vousdoukas et al. 2007 の Table 1 から筆者作成)

いという報告もある、Kneale and Viles2000 ; Goudie2006)。

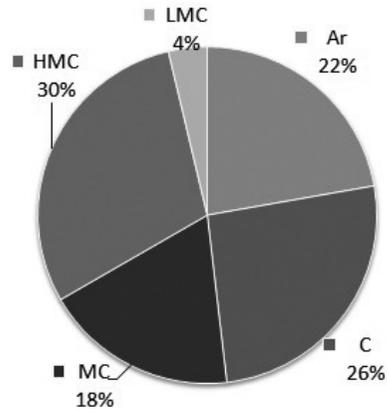
ここで、Vousdoukas et al. (2007) が世界の文献からまとめた温帯から熱帯地域の各地のビーチロックの特徴 (pp. 26-28、Table1) から、セメントタイプの記載 (85 地点) を示すと第 12 図のようになる。

これを見ると、Ar、MC、HMC で約 78% を占めていることがわかる。また、国内外の 77 地点のビーチロックのセメント物質を集計した檀上・川崎 (2013)、Danjo・Kawasaki(2014a) は、77 地点中 75 地点で  $\text{CaCO}_3$  の多面系を主成分としていることが報告されていると述べた。その結果から、Ar, MC, HMC が含まれているデータを抽出すると約 77.3% (77 地点中 58 地点) になったと報告した。これは第 12 図の Vousdoukas et al. (2007) の結果にほぼ等しく、Ar, MC, HMC が主要なセメント物質であることがわかる。

さらに、檀上・川崎 (2013) は、Ar や HMC は海水からの析出、カルサイトは淡水からの析出が支配的であろうと述べている。さらに、HMC をセメント物質として形成メカニズムが記載されている 13 地点中、10 地点が海水からの析出を起源としていることから、海水からの析出による影響を考察した。そして、海水中の  $\text{Mg}/\text{Ca}$  のモル比<sup>4)</sup>が高いことや有機物<sup>5)</sup>の存在から HMC が析出し砂粒同士を膠結してビーチロックが形成される可能性を示した<sup>6)</sup>。しかし、これが日本の温帯性ビーチロックに当てはまるのかというデータが少なく、難しい。

そこで、さらに Vousdoukas et al. (2007) の資料から、セメントタイプが記載されていて温帯や地中海岸のビーチロックで Formation Process も記載されている例を抽出すると 23 地点になる。これらの地点のセメントの種類を分類すると第 13 図のようになり、第 12 図と比較すると、Ar が半減するかわりに、HMC や C が増加していることがわかる。日本で温帯性ビーチロックのセメント物質を調べた寺田・松田 (2001) は、前述のように HMC, Ar, LMC を認め、カルサイトは越前岬 (東ほか 1982) と屋形島 (山崎ほか 2016) から特定されているのみである。日本の温帯性ビーチロックの膠結物質のデータは少ないので、現時点では詳細を論じることはできない。

しかし、先の能登半島輪島市のビーチロックのセ



第 13 図 温帯・地中海岸のビーチロックのセメント (Vousdoukas et al. 2007 の Table 1 から筆者作成)

メント物質では Al や Si が多く、Ca はほとんど含まれていなかった。このことについて、国内外のセメント物質を調べた檀上・川崎 (2013) も輪島市のビーチロックを調査し、やはり Al と Si を主成分とするビーチロックのセメント物質を見出し、これは世界的にも稀なケースであると考えた。そして彼らは、Al, Si を主成分とするセメント物質がどのように析出したかを次項のように考察した。

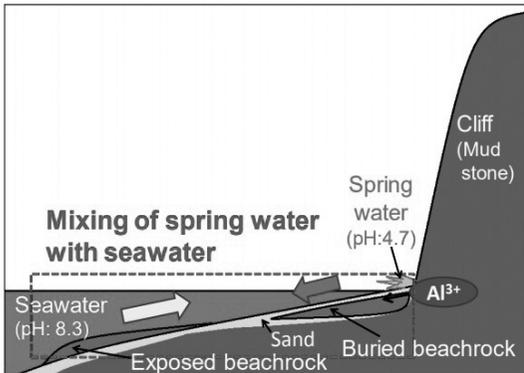
### 3 温帯性 (礫岩) ビーチロックの形成機構モデル

ビーチロックの形成機構については、Vousdoukas et al. (2007)、Gischler(2007)、檀上・川崎 (2012、2013)、Danjo・Kawasaki(2014b)、檀上 (2015) などに詳しいが、その形成機構について文献中に形成モデル図を掲載している例は少ない<sup>7)</sup>。

そこで、ここではおそらく世界で初めて、詳細に温帯性ビーチロックの形成モデルを発表した檀上・川崎 (2013) の報告から、輪島市のビーチロックの形成機構を紹介する (第 14 図)。

輪島市のビーチロックは、海水より高濃度の  $\text{Al}^{3+}$  を含む酸性 (pH4.7) の湧水が海岸に流出し、潮間帯で海水と混合することで pH が中性付近まで上昇し、 $\text{Al}(\text{OH})_3$  が析出する。その際、湧水や海水中の  $\text{SiO}_2$  や  $\text{SO}_4^{2-}$  が共に取り込まれ、Al と Si を主成分とする非晶質のセメント物質が海浜堆積物の粒子間に析出し、ビーチロックが形成されたと考えた (檀上・川崎 2013)。

一方、前述のように沖縄県と西九州のビーチロックの堆積岩岩石学的並びに地球化学的特徴を調査し、セメントの炭酸塩鉱物と炭素・酸素安定同位体比を



第14図 輪島のビーチロックの形成機構モデル (檀上・川崎 2013 による)

調査した寺田・松田 (2001) は、温帯性ビーチロックの形成を次のように推定した。

蒸発作用が主要因と推定される亜熱帯ビーチロックとは異なり、潮汐に伴い海水からなる間隙水が堆積物表面に浸出し大気に触れ、並びに日射により表面が熱せられ、溶存 CO<sub>2</sub> の脱ガスあるいは蒸発作用でセメントが形成される可能性を指摘した。

また、檀上・川崎 (2013)、寺田・松田 (2001) も沖縄のビーチロックの観察と諸検査・実験の結果から、サンゴ礁地域のビーチロックの形成機構についても説明しているが、ここでは紙面の都合で省略する。

#### 4 日本の温帯性ビーチロックの年代資料

温帯性ビーチロックは礫岩ビーチロックとしての性格をもつものが多いので、<sup>14</sup>C 年代測定用試料となる貝化石や化石サンゴなどを採集することが難しいと考えられる。それゆえ、<sup>14</sup>C 年代試料はサンゴ礁性のビーチロックに比べると、きわめて少ない。そのため含有されている人工物などから年代推定されたものがしばしばみられる (第5表)。これをみると、礫岩ビーチロックの形成年代は、現代から約 6,600 年の間に見られる。河名 (2003) は琉球列島の礫岩ビーチロックの例から、形成は 4,000 ~ 3,000 年前の海退時期に形成されたと考えている。しかし、それより温帯性ビーチロックは古いものが見られることがわかった。

#### V まとめ

日本の温帯性ビーチロックの分布と特徴を明らかにすることを目的として研究を行った。その結果は、次のとおりである。

第5表 温帯性 (礫岩) ビーチロックの年代資料

地点番号	地点名	決定方法	数字は k y B P	文献 (記載は略)
12	脇岬	<sup>14</sup> C	0.6~5	小元・伊藤 2016
13	下釜	貝塚	縄文?	西村・阪口 1988
17	奈留島	土器	縄文?	橘 1964
		<sup>14</sup> C	5.6	橘・阪口 1971
20	曲崎	<sup>14</sup> C	3.0~6.6	小元 2000
25	金浜	土器	弥生?	米谷 1966
26	荒平	土器	縄文?	米谷 1966
32	屋形島	人工物	現代	青山 2014
		<sup>14</sup> C	4.0	山崎ほか 2016
34	伊予市森	人工物	現代	千葉私信 2017
35	越前	<sup>14</sup> C	3.95	東ほか 1982
38	塩見	地震段丘	0.3~0.1	菅沼 1979
39	千倉	<sup>14</sup> C	2.86	吉川ほか 1973

1) 日本のビーチロックの分布地点数は、大隅海峡以北の温帯性ビーチロックが 39 地点、大隅海峡以南の亜熱帯性ビーチロックは 356 地点であった。

2) 温帯性ビーチロックとは、サンゴ礁構成物を主としない、非サンゴ礁起源の原地性海浜堆積物を主とする大隅海峡以北のもので、周囲の海浜の種々の大きさの礫からなり、礫岩質ビーチロックの特徴をなす。

3) 温帯性ビーチロックは、亜熱帯性 (サンゴ礁性) ビーチロックと比べると、規模が小さく成層構造が不明瞭で、明確な海方傾斜を示さず、ミクロケスタを呈することも少なく。崖や海食崖下の礫浜や礫州の外洋側に発達することが多い。

4) 温帯性ビーチロックのセメントタイプについては、日本では 4 地点から知られているが、西九州は HMC を主に、LMC と Ar を伴っている。これは外国の報告とも矛盾していない。屋形島・越前岬は C と考えられ、輪島市の例は、Al, Si を主成分とするもので、外国からの報告がなく、きわめて局地的なものと思われる。

5) 日本の温帯性ビーチロックの形成年代の例は 11 地点ほどしかない。土器や人工物で推定された例もあり、年代は現代~約 6,600 年前の幅がみられる。

謝辞 本報告の一部は、兵庫地理学協会 2016 年夏季研究大会及び同 2017 年冬季研究大会にて発表されたものである。文献収集に貴重な示唆を賜った神戸大学藤田教授、本誌の投稿に際してお世話頂いた

愛媛大学川瀬・淡野両准教授に厚くお礼を申し上げます。

注)

- 1) 開発や海況の変化で現在は発見できない地点数もかなりあると思われる。筆者も沖縄島中部の海浜で1993年に調査したビーチロックが10年後に再訪した際には完全に工事で消失していた例を見ている。
- 2) 他には鹿児島県天然記念物として沖永良部島大津勘のビーチロックが平成24年4月に指定されている。
- 3) 一般的にMgCO<sub>3</sub>含有量が4~20%ほどの炭酸塩鉱物をhigh Mg calcite (Mg-rich calcite, magnesian calcite)と呼び、MgCO<sub>3</sub>含有量の小さいカルサイトをlow Mg calcite (純粋のCaCO<sub>3</sub>に近いcalcite)と呼んでいる(北野1990)。
- 4) 海水中のMg/Caのモル比と水温の関係から、Morse et al. (1997)らは、アラゴナイトはMg/Ca比が高いか水温が高い場合、水温が低い場合Mg/Ca比が小さいときはカルサイトが生成されると実験によって確認した。さらに、ArやHMCは暖海から、LMCは寒海や高緯度海域で生成されやすいと述べている。また、Raz et al. (2000)らもMg/Ca比が4以上でHMCの骨格が沈殿したことを認めている。さらに、Folk(1974)は海水環境でMg濃度が高いほどMgカルサイトが、淡水環境でMg濃度が低いとカルサイトが生成しやすいと述べ、Na<sup>+</sup>とMg<sup>++</sup>両方とも高いmarine環境の潮間帯でビーチロックができると説明している。壇上・川崎(2013)も水質分析の結果から、Mg/Caのモル比が6.3だったので、HMCの生成を予測した。
- 5) 北野(1990)は溶液中でMg濃度が高く、微生物が含まれる環境ではHMCが生成しやすいと述べている。
- 6) 堆積岩中で無機的に沈殿したセメントはHMCからなる(吉村・井上2016)、熱帯~亜熱帯の原生の浅海性炭酸塩鉱物は大部分がHMC(高須・田崎1993)という報告もある。
- 7) かつて筆者は、沖永良部島の礁性堆積物からなる海浜を例としてモデルを発表した(田中1983)。

文献

- 青山尚友(2014):『ここまでわかった宮崎の大地』みやざき文庫、266p.
- 東 洋一・藤井昭二・畑中 恣・竹山憲一(1982):北陸地域にみられるビーチロックについて. 第四紀研究20、271-280
- 荒巻 孚・山口雅功・田中好國(1976):鹿児島県、上甕島の水文地形学的研究. 専修自然科学紀要、No. 9、1-80
- 小笠原 洋・吉富健一・次重克敏(2004):能登半島、輪島市曾々木海岸のビーチロック. 日本応用地質学会中国四国支部平成16年度研究発表会、31-34
- 沖縄県Web「離島の概況について」(2017年1月現在)、<http://www.pref.okinawa.jp/site/kikaku/chiikirito/ritoshinko/ritou-gaikyou.html> (2018年1月21日閲覧)
- 小元久仁夫(2005):南西諸島から採取したビーチロックの<sup>14</sup>C年代および安定同位体比(δ<sup>13</sup>C). 日本大学文理学部自然科学研究所紀要、No. 40、1-27
- 小元久仁夫(2014):八重山諸島のビーチロック試料の較正年代とδ<sup>13</sup>C. 季刊地理学、Vol. 65、207-221
- 小元久仁夫(2016):南西諸島のビーチロックの特徴. 日本地理学会発表要旨集、No. 90、109
- 小元久仁夫・伊藤佑始(2006):長崎県天然記念物『脇岬のビーチロック』の<sup>14</sup>C年代と地形発達. 日本地理学会発表要旨集、No. 70、35
- 小元久仁夫・伊藤佑始(2016a):長崎半島 脇岬のビーチロックの特徴と較正年代. 地学雑誌、Vol. 125(3)、409-419
- 小元久仁夫・伊藤佑始(2016b):長崎県脇岬のビーチロックの形成に関する一考察. 地理誌叢、Vol. 58(1)、1-10
- 鹿児島県(2004):鹿児島湾沿岸海岸保全基本計画、24p.
- 鎌田泰彦(1982):長崎県の天然記念物(地質・鉱物)その1、長崎県地学会誌、No. 36、1-13
- 河名俊男(2003):琉球列島におけるビーチロックの分布と形成時期. 地図、No. 41、30-31
- 北野 康(1990):『炭酸塩堆積物の地球化学』、東海

- 大学出版会、391p
- 菅沼 健 (1979) : 房総半島南部・館山付近のビーチロック. 東北地理、Vol. 31、70
- 高須 晃・田崎和江 (1993) : 特集: 環境地質学. 地球科学、Vol. 47(3)、175-178
- 高橋達郎・木庭元晴 (1980) : 日本列島のビーチロックの年代. 琉球列島の地質学研究. No. 5、125-131
- 武永健一郎 (1965) : Beach rock の成因について. 地理学評論、Vol. 38、739-755
- 橘 行一 (1964) : 五島の beachrock について(その1). 長崎大学教養部紀要、自然科学. No. 4、50-77
- 橘 行一・阪口和則 (1971) : 五島列島の縄文式土器を含むビーチロックの年代、五島の beachrock について(その2). 第四紀研究、Vol. 10(2)、54-59
- 田中好國 (1983) : ビーチロックの形成に関する一考察. 地理科学、Vol. 38、91-101
- 田中好國 (1986) : 日本列島におけるビーチロックの分布と年代. 兵庫地理、No. 31、16-30
- 田中好國 (1990) : 石になった砂浜ービーチロック. 日本地理学会サンゴ礁地域研究グループ編『熱い自然ーサンゴ礁の環境誌ー』古今書院、137-151
- 田中好國 (2016) : インターネットを活用した文献検索・収集ーとくに古いビーチロックの文献を収集するために. (兵庫地理学会 2016 年度夏季大会要旨、兵庫地理 (2017)、No. 62、128-129)
- 田中好國 (2017a) : ビーチロックの最近の研究ー温帯域のビーチロック、物理・力学特性、炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ )ー. 兵庫地理、No. 62、59-78
- 田中好國 (2017b) : インターネットを活用した文献検索と収集ー遠隔複写・遠隔貸出の方法ー. 兵庫地理学会 2017 年 12 月研究大会、(兵庫地理 No. 63(2018)37-56)
- 田中好國・沖野新一・水木崇行 (2016) : 四国、伊予市森海岸の温帯域のビーチロック. 愛媛の地理、No. 24、23-29
- 田中優喜・多田彰秀・坂下泰和 (2010) : 長崎市脇岬西南海岸における海浜変形に関する現地調査. 土木学会第 65 回年次学術講演会、163-164
- 檀上 堯 (2015) : ビーチロック形成機構に学ぶ人工岩の開発に関する基礎的研究. 北海道大学(工学博士)学位論文、1-155
- 檀上 堯・川崎 了 (2012) : 文献調査によるビーチロックの諸特性ービーチロックを模擬した人工岩の開発を目指してー. 応用地質、Vol. 53、129-141
- 檀上 堯・川崎 了 (2013) : セメント物質に着目したビーチロックの形成メカニズムに関する考察. Journal of MMIJ、Vol. 129(7)、520-528
- 千葉 昇 (1997) : 伊予市森海岸の“ビーチロック”顛末記. 愛媛の地学研究、Vol. 1 (1)、7-8
- 寺田 緑・松田博貴 (2000) : 温帯地域でみられるビーチロックの産状とその特徴. 日本地質学会学術大会講演要旨集、107
- 寺田 緑・松田博貴 (2001) : 温帯域と亜熱帯域で見られるビーチロックの比較との成因. 堆積学研究、Vol. 53、96-98
- 長崎県 (1995) : 『土地分類基本調査 野母崎』32p.
- 西村暉希 (1970) : 長崎県の beachrock. 長崎北高論叢、No. 1 (筆者未読)
- 西村暉希 (1972) : 佐世保市東浜にある beachrock と考えられる礫岩. 長崎県地学会誌、No. 17、17-18
- 西村暉希・阪口和則 (1988) : 下釜貝層の観察と有喜安山岩の採集. 長崎県地学会誌、No. 48(8/9)、8-10
- 服部 仁・井上英二・松井和典 (1993) : 神 浦地域の地質. 地域地質研究報告、地質調査所、126p.
- 松井和典 (1990) : 小値賀島及び肥前平島地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1)、地質調査、63p.
- 松岡数充 (1993) : 新たに確認されたビーチロックの分布地. 伊藤秀三・松岡数充編『長崎県の無人島ーその自然と生物』長崎県、540-544
- 三浦 真・千田 昇 (1994) : 屋形島にみられるビーチロックについて. 大分地理、No. 8、1-6
- 目崎茂和 (1982) : 板干瀬 (ビーチロック) による汀線変化の解明. 地形、Vol. 3、210-211
- 山崎博史・吉富健一・古賀信吉 (2016) : 完成をとまった「時間」概念育成のための教材開発ー化石化の可視化計画ー. 科研費助成事業、2015 年度実績報告書、1-5
- 吉川虎雄・杉村 新・貝塚爽平・太田陽子・阪口 豊 (1973) : 『新編 日本地形論』東京大学出版会、415p.
- 吉村寿紘・井上麻夕里 (2016) : 海洋におけるカルシウムの地球科学と安定同位体指標. 海の研究、

- Vol. 25(3)、81-99
- Aliotta, S., Spagnuolo, J. O. and Frainati, E. A. (2009) : Origin of a beachrock in the coastal region of Bahía Blanca, Argentina, *Pesquisas em Geociencia*, Vol. 36(19)、107-116
- Danjo, T. and Kawasaki, T. (2014a) : Characteristics of Beachrocks: A Review, *Geotch. Geol. Eng.*, Vol. 32, 215-240
- Danjo, T. and Kawasaki, T. (2014b) : Formation Mechanisms of Beachrocks in Okinawa and Ishikawa, Japan, with a Focus on Cements, *Materials Transactions*, Vol. 55(3), 493-500
- Folk, R. (1974) : The Natural History of Crystalline calcium Carbonate: Effect of Magnesium Content and Salinity, *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 44(1)、40-53
- Gischler, E. (2007) : Beachrock and Intertidal Precipitates, *Edited by Nash, D. J. and McLaren, S. J. Geochemical Sediments and Landscapes. Blackwell*, 356-390
- Goudie, A. (2006) : Beach rock, *Edited by Goudie, A., Encyclopedia of Geomorphology, Vol. 1, Routledge*, 73-74
- Kneale, D. and Viles, H. A. (2000) : Beach cement: incipient CaCO<sub>3</sub>-cemented beachrock development in the upper intertidal zone, North Uist, Scotland, *Sedimentary Geology*, Vol. 132, 165-170
- Morse, J. W., Wang, Q. and Tsio, M. Y. (1997) : Influences of temperature and Mg:Ca ratio CaCO<sub>3</sub> precipitates from seawater, *Geology*, Vol. 25(1)、85-87
- Raz, B. S., Weiner, S. and Addadi, L. (2000) : Formation of High-Magnesian Calcites via an Amorphous Precursor Phase: Possible Biological Implication, *Advanced Materials*, Vol. 12(1), 38-42
- Russell, R. J. (1962) : Origin of beach rock. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Vol. 6, 1-16
- Vousdoukas, M. I., Velegrakis, A. F and Plomaritis, T. A. (2007) : Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts, *Earth-Science Reviews*, Vol. 85, 23-46
- Yonetani, S. (1963) : Preliminary notes on beach rock at the South-West Islands of Japan, *The Bunka Houkoku, Shigakuhon, Kagoshima Univ.*, No. 9, 1-24

## Distribution and characteristics of temperate beach rocks in Japan

Yoshikuni TANAKA\*

(\*Pref. Hyogo Harima Special Needs School, ret.)

This study revealed that beach rocks are distributed in 395 locations in Japan. Among them, there are 39 temperate beach rocks, 33 in Kyushu and surrounding islands, 1 in Shikoku, and 5 in Honshu. As a result, the sub-tropical beach rock ratio was 90.1%, slightly lower than before. The most characteristic of temperate beach rock is a conglomerate beach rock.