

# 宮古島で観察された石灰華段、津波石および膠結海浜砂層の特徴

小元 久仁夫

## Characteristics of travertine terraces, tsunami boulders and cemented beach sand beds observed on southeast coast of Miyako Island, Southwest of Japan

Kunio OMOTO

(Received October 31, 2009)

Travertine terraces were found on Tidagah of Myadozaki, southeast of Miyako Island. They showed various kinds of sizes and shapes. Rimstone pools of travertine terraces were filled with underground water percolated through the Ryukyu limestone beds. Relative heights of each rimstone pool were within a range between 5mm and ca. 50cm.

Huge boulders (Genus *Porites*) dispersed on the Maibahbama beach, near Higashihenna Point were estimated that they had transported from their original habitats to the present places by the Meiwa tsunami triggered by huge earthquake occurred in 1771. Outside layers of Genus *Porites* sample which constitutes one of the tsunami boulders was radiocarbon dated. The calibrated age indicated 753 cal BP which did not coincided with the estimated age of the Meiwa tsunami (1771).

On the sandy beach of Barabama, Yoshino coast where sand beds were cemented by gushed out underground water percolated through the Ryukyu limestone beds. Their isotope fractionations indicated -3.4‰ which differ largely compared with the value of isotope fractionations given for the neighborhood beach rocks (2.2‰; n=29). Figure of isotope fractionations is an index indicating the influence of meteoric water in which beach rock was formed.

**Keywords:** travertine terraces, tsunami boulders, The 1771 Meiwa tsunami, Ryukyu limestone, isotope fractionation ( $\delta^{13}\text{C}$ ), radiocarbon age, Miyako Island

### 1. はじめに

宮古島は南西諸島南部、先島諸島の東端北緯24度48分;東経125度17分に位置する面積159.1km<sup>2</sup>の島である。宮古島には更新世の高位および低位の海成段丘が発達し(木庭, 1980)、段丘面は活断層によって変位している(荒川・三浦, 1990;活断層研究会編, 1991)。また宮古島には、多数のビーチロックが発達していることがKawana and Pirazzoli (1984)によって報告されている。2009年2月、宮古島市教育委員会および文化財審議委員会は、宮古島に発達するビーチロックを史跡名勝として指定することを検討していた。このため宮古島のビーチロックについて<sup>14</sup>C年代測定を行い、その結果を報告(小元, 1995, 2005a, 2005b; Omoto, 2006; 小元 2008)してきた小元に学術的に価値の高いビーチロックの選定を要請した。これを受けて2009年3月下旬に現地調査行っ

た小元は、宮古島南東部の海岸において南西諸島では従来報告されていなかった「石灰華段(travertine terrace)」を確認し、明和の大津波(1771年)によって打ち上げられたとされる多数の「ハマサンゴ(Genus *Porites*)岩塊」を観察した。さらに宮古島南東部の海岸において琉球石灰岩層下部から湧出する地下水によって「流路の砂層が膠結している現象」を観察した。ビーチロックや砂丘砂岩は熱帯や亜熱帯の海岸において、海浜堆積物が海水や地下水によって膠結されて形成されると考えられているが(Russell, 1962および1963ほか)、このような現象が観察されることはきわめて稀である。

以上紹介した地形や堆積物は、宮古島にとって「特異な地形や堆積物」であるだけでなく、南西諸島全体としても「貴重な自然遺産」であると評価される。本報告では2009年3月下旬に宮古島で観察した特異な3件の地形とそれらの堆積物の特徴、現地調査の際採取した試料の

$^{14}\text{C}$ 年代と安定同位体 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) について考察した結果を記載する。

## 2. 特異な地形および堆積物の記載

### (1) 石灰華段

現地調査の際に宮古島市文化財審議委員会委員長の安谷屋 昭氏から宮古島南東部の崖下に「棚田状の地形」があることを聞いた。「棚田状の地形」とは一体どのようなものなのか関心を持ち、現地を案内してもらった。その地点は東平安名岬の北西、宮渡崎（ミヤドウ崎）の海拔約30mの海成段丘の段丘崖下、「太陽泉（ティダガー）」にあった（第1図A地点；写真-1）。この地点の海拔約3m付近から平均海面下までの緩斜面上に、大小様々な「多数の皿状の地形」が上下に重なっているのがみられた（写真-2～6）。その皿状の地形は段丘崖を構成する琉球石灰岩層の下部から湧出するいくつかの地下水流により満たされていた。このように多数の棚田状の地形が流水によって満たされ多数の小ダム（貯水池）となっている地形は、秋芳洞などの鍾乳洞内で見られる「石灰華段（travertine terraces）」であることは一目瞭然であった。すなわち湧水で満たされた個々のプール（小ダム）は、いわゆる「rimstone pool (travertine pool:石灰華縁湖（池）」であり、これらを分離する段（縁）は「rimstone dam」とよばれている (Bates and Jackson, Eds, 1980)。しかしこのような石灰華段は、これまで南西諸島の海岸では確認されていない珍しい地形であり堆積物である。

この石灰華段は段丘崖下から汀線までの幅約15m～25mの緩斜面上に、海岸線にほぼ平行に長さ約70mにわたってみられる。石灰華段の高位部と低位部は灰色のビーチロックに覆われ（写真-2の右側の上下の部分や写真-3の右上）、中央部（写真-2の左下）にもその残骸が認められる。しかしその他の大部分ではビーチロックは認められず、見事な石灰華段が見られる（写真-3）。石灰華段低位部のビーチロック上には、高さおよび下部の長径が3mをこえる巨大な津波石と思われる岩塊が載っているところもある（写真-6）。この地点以外では、石灰華段の低位部は低潮位～中潮位ベンチ（またはストームベンチ）となっており（写真-4, 5）、その表面には直径20cm～60cm、深さ最大約50cmのポットホールが多数発達している（写真-7）。石灰華段の形状は変化に富み、またその規模も様々である（写真-2～4）。すなわち石灰華段の大きさは長径が約2mのものから10cm位まで様々であり、それらの平面形も角の取れた長方形や方形、楕円形、半月状など様々である。また石灰華段の縁（rimstone dam）の高さは5mm～50cmまでさまざまであり、rimstone

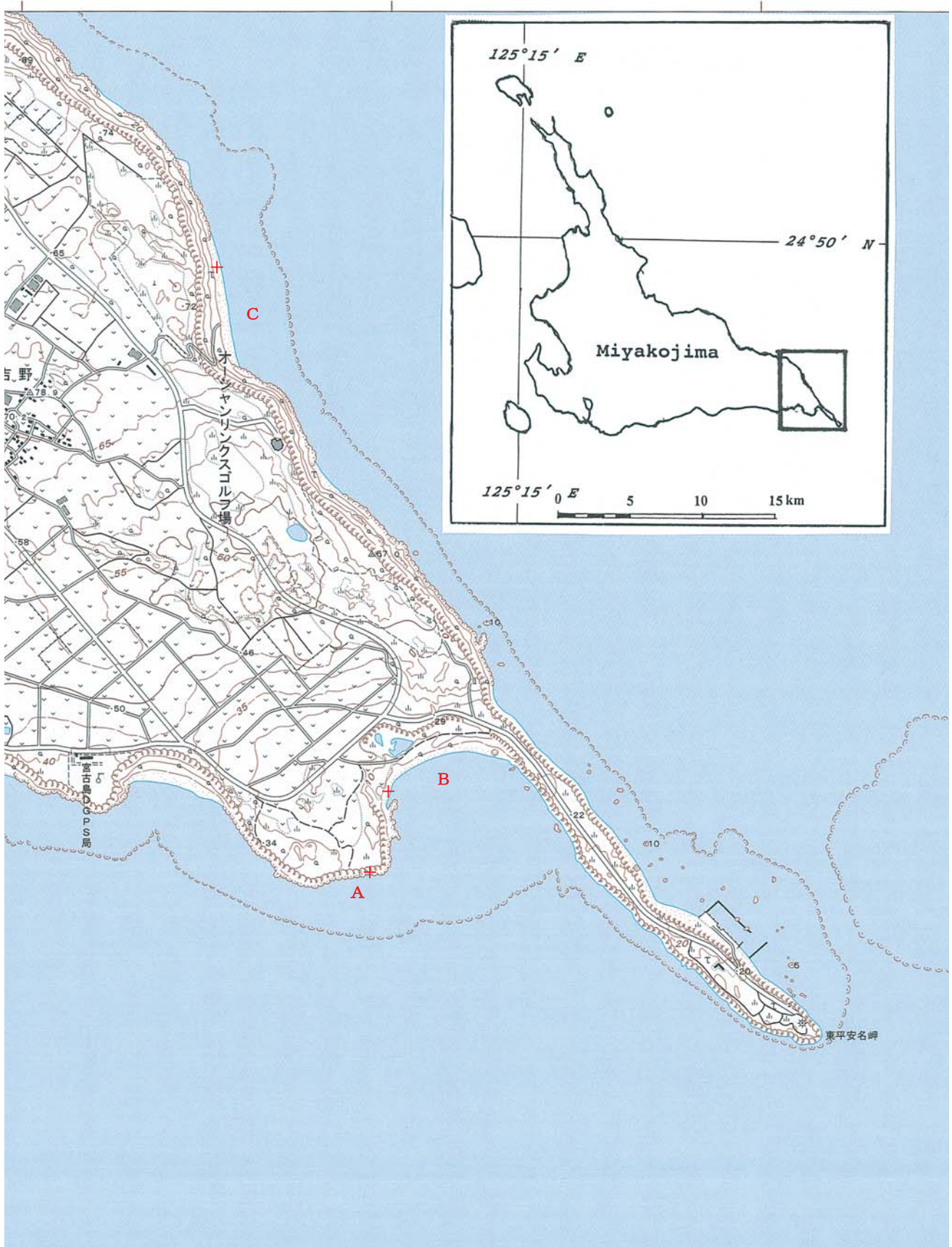
poolの水深は5cm～30cmまで多様である（第2図）。なお数地点でrimstone poolに「石灰華」の沈殿（写真-8）を確認した。

### (2) 津波石

宮古島南東部に位置する東平安名岬は、海拔約20m～25mの海成段丘が侵食されて形成された幅100m～250m、長さ約2.5kmの細長い半島の突端に位置する。この半島とその西部の宮渡崎の湾入部には幅約500mのポケットビーチが発達し、「マイバーバマ」と呼ばれている（第1図B地点）。マイバーバマの背後には高度約5m～20mの海岸砂丘があり、その前には汀線まで幅30m～60mの砂浜が広がっている。この砂浜の前面にはビーチロックが低潮位から高潮位にかけて発達している（写真-9）。一方マイバーバマの西方および北方には琉球石灰岩を基盤とする海拔約30mの海成段丘が発達しており、段丘崖下には長径1m～10mの大小様々な岩塊が多数みられる（写真-10）。その中に長径1mをこえる「ハマサンゴ（Genus *Porites*）の岩塊」が10個以上観察された。これらのハマサンゴの岩塊がすべて段丘崖から供給された転石であれば琉球石灰岩層起源であり、その年代は最下部で120～140万年と推定（佐渡ほか, 1992; 本田ほか, 1994）されている。ハマサンゴの岩塊が安谷屋 昭氏の指摘する「明和8年（1771年）の大津波」によって打ち上げられたものであるかどうかは、このハマサンゴを採取し $^{14}\text{C}$ 年代測定を行うことにより確認することが可能である。

### (3) 湧水路の膠結砂層

安谷屋 昭氏から宮古島南東部、吉野海岸の砂浜（パラバマ：第1図C地点）で、海浜砂が湧水によって膠結されたことを示す地点（+印）がみられると聞き、現地へ案内してもらった。その砂浜は海拔70mの海成段丘を下ったところにあり、南北に約500m連なり、南部では中潮位から低潮位にかけてビーチロックがみられた。砂浜の北部では段丘崖下から琉球石灰岩層を浸透した地下水が数か所から湧出していた。段丘崖前面の砂浜では、湧水路に沿って河道沿いの砂層が膠結している所がみられた（写真-11）。また伏流し涸れ川となった旧流路（河床）沿いにも膠結した地層が見られた（写真-12）。湧水が伏流する直前の地点で、流路の両側を簡易スコップで掘ってみた。流路の両側は地表部と同様膠結していなかったが（写真-13）、流路の部分だけは厚さ数cm～10cmにわたり膠結ないしは膠結しかかった地層となっていた。このように砂層が板状に膠結した堆積状況は、種子島南部の海岸砂丘下で観察された砂丘砂岩（dune sandstone: 小元, 2007）にきわめて類似していた。



第1図 宮古島の概略図(右上図)および調査地点(同枠内)を示す1:25,000地形図「東平安名岬」の一部(原寸)。  
A: 宮渡崎太陽泉(ティダガー)、B: マイパーバマ、C: 吉野海岸(バラバマ)。+印は試料採取地点を示す。



写真-1 宮渡崎太陽泉(ティダガー)の航空写真(原縮尺:1/7,500を拡大表示した。)。アジア航測(株)提供。  
写真中央部の海岸に面した黄緑色～黄褐色部分が石灰華段の分布域である。写真中央左側の灰色部分は「活断層崖」と推定される。  
写真の方位は上部が概略東になり、右側が南である。図上の距離2cmが実距離では約9mに相当する。



写真-2 宮渡崎太陽泉（ティダガー）の石灰華段。  
右上部および下部の石灰華段はビーチロック（灰色部分）に覆われている。白色テープに沿う地形断面図を第2図に示す。



写真-3 石灰華段上部から中央部。右上部の石灰華段はビーチロックに覆われている。写真下部の箱尺の黄色部は1mである。中央上部の暗褐色部は流水路である。



写真-4 石灰華段の中央部から下部



写真-5 石灰華段末端部。沖合の白波は礁嶺



写真-6 ビーチロックに載る津波石（右）と下位の石灰華段（褐色～黄緑色）



写真-7 石灰華段最下部にみられるポットホール（直径20cm～60cm）

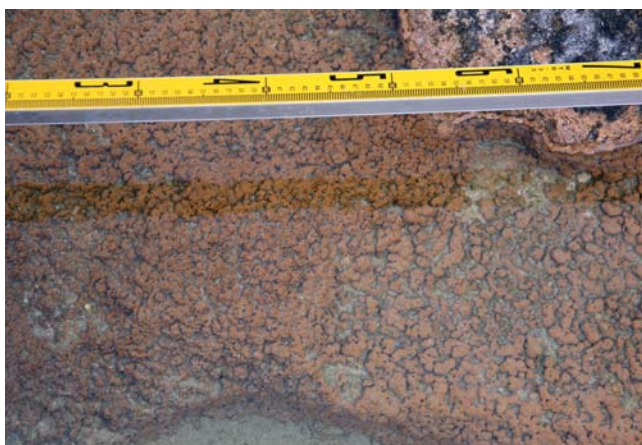


写真-8 石灰華段のプール（rimstone dam）にみられる石灰華沈殿物



写真-9 マイバーバマのビーチロック（1201～1341 cal BP）。中景は東平安名岬。



写真-10 マイバーパマで段丘崖下にみられる散乱する岩塊



写真-11 吉野海岸（バラバマ）北部の砂浜で膠結している流路跡（人物とモンパの木の間）



写真-12 成層膠結した上下の砂層



写真-13 膠結している流路跡と、その両側の横断面の未膠結砂層（試料採取地点）。流路跡から採取した堆積物の安定同位体は $-3.4\text{‰}$ であった。



写真-14 宮渡崎西部の海岸でビーチロックに取り囲まれている高さ約1.5mのペDESTAL (pedestal) 状キノコ岩



写真-15 マイバーパマで $^{14}\text{C}$ 年代測定試料を採取したハマサンゴ岩塊。最外殻部から採取した試料は753 cal BPを示した。

### 3. 試料の採取と分析結果

#### (1) 試料の<sup>14</sup>C年代

流水中の炭酸カルシウムの沈殿によって形成された石灰華段やビーチロックから採取した化石サンゴや貝化石を試料として<sup>14</sup>C年代測定を行えば、それらの形成年代を推定することができる。ティダガーでは、石灰華段の上部や下部はビーチロックに覆われているため(写真-3の右上など)、地層累重の法則により石灰華段の形成年代がビーチロックよりも古いことは明らかである。一方、石灰華段がみられる地点から約150m西方では、ビーチロックが低潮位から高潮位にかけて発達していた。このビーチロックは、その高度分布から石灰華段の見られる地点のビーチロックに対比され、同年代を示すと考えられた。またこの地点にはビーチロックを覆い、化石サンゴからなる高度約1.5mのペDESTAL (pedestal) 状のキノコ岩(写真-14)が見られた。石灰華段のみられる地点やペDESTAL状のキノコ岩周辺のビーチロックには貝化石や化石サンゴが多数含まれていたが、それらの破断面を観察した所、その大部分は方解石に変質していたため年代測定試料としてふさわしくないと判断された。

明和の大津波(1771年)によって打ち上げられた津波石と推定されている東平安名岬北西、マイバーバマの「ハマサンゴの岩塊」(写真-15)の一つ(直径約2m)について、その表層部の断面を観察したところ、破断面は新鮮であり、年層が観察された。また吉野海岸で見られたビーチロックの膠結作用に関係していると考えられた湧水路跡の膠結砂層も新鮮であった。このためこれらについて、その<sup>14</sup>C年代と安定同位体( $\delta^{13}\text{C}$ )を測定するため試料(写真-13および15)として採取した。今回採取した試料について日本大学年代測定室で<sup>14</sup>C年代と安定同位体の測定を行った。その結果マイバーバマで津波石と推定されていた「ハマサンゴ」から $1,205 \pm 60\text{y BP}$  (NU-1969)の<sup>14</sup>C年代が得られた。

#### (2) 試料の安定同位体 ( $\delta^{13}\text{C}$ )

ビーチロックの構成物質について安定同位体を測定することにより、ビーチロックを膠結した炭酸カルシウムが、海水起源か陸水や地下水起源かを推定できる(小元, 2004)。この原理は、海水と陸水ではその安定同位体が異なることによる。このため吉野海岸(バラバマ)で流路跡(河床)より採取した試料について安定同位体を測定し、ビーチロックの安定同位体と比較することにより両者の関係—海水または湧水(地下水)の影響—を評価することができる。そこで膠結された物質表面の厚さ3mmの堆積物について安定同位体を測定したところ、

-3.4‰の値が得られた。一方流路跡の側方から採取した非膠結物質(海浜砂)の安定同位体は0.4‰であった。

### 4. 考察

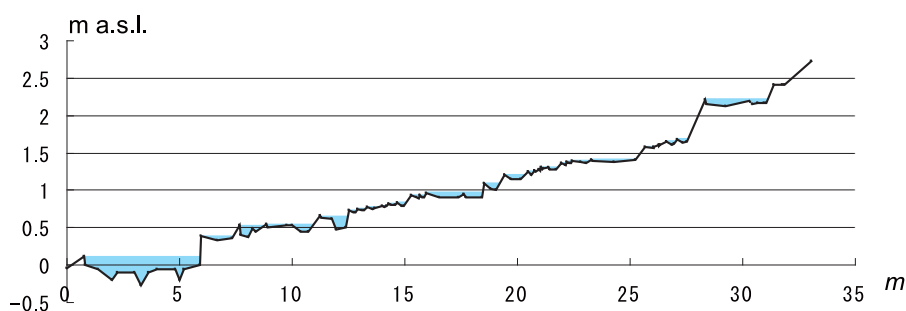
#### (1) 石灰華段の形成過程

石灰華段について地学事典では『石灰岩地域で河川水が多量の $\text{CaCO}_3$ を含む場合、急流部など水の蒸発の激しい場所で炭酸カルシウムが沈殿し、河床をせきとめ、その上流部に小池をたたえるようになる。こうして生じた皿(さら)状の小池が高さを異にしていくつも接するような地形を石灰華段という。秋吉台秋芳洞の百枚皿はその好例。同様な温泉水が流れる場合にも形成され、北海道川俣温泉にその例がある。』と記載している(地団研地学事典編集委員会(編), 1976)。堀井ほか(1990)は、秋芳洞における石灰華段の形成解析とその成因について考察し、室内実験によって石灰華段の形成過程を実証している。

太陽泉(ティダガー)の石灰華段の形成過程は、原理的には地学事典に記載された内容と同じであると考えられる。すなわち琉球石灰岩層を浸透してきた地下水は、豊富な炭酸カルシウムを含んでいたと推定される。段丘崖下から湧出した地下水は、斜面を流下し海面に達して流路を遮られ炭酸カルシウムの沈殿に好都合の“rimstone pool”が形成された。さらに汀線付近には低潮位～中潮位ベンチが形成されており、その表面にポットホールが形成され地下水が停滞しやすい環境があった。またその地点は段丘崖の前面(南面)に位置し、干潮時には遮るものがない直射日光により水分が蒸発するのに格好の場所であった。このような条件下で、“rimstone pool”では炭酸カルシウム濃度が高まり、炭酸カルシウムを含む物質の析出・沈殿が開始され、様々な形態と比高を有する“rimstone dam (travertine dam)”が形成された。このような好条件によりティダガーでは石灰華段が順次下方から上部へと形成されたと推定される(第2図)。そしてさらにこの石灰華段は、前述のようにビーチロックに覆われていることから、石灰華段形成後に砂礫層が堆積し、その砂礫層が膠結してビーチロックとなり石灰華段を保護した。その後、波浪によりビーチロックが除去されて今日観察されるような石灰華段がふたたび現れたと考えられる。

#### (2) 石灰華段およびビーチロックの形成年代

石灰華段の形成年代は、その構成物質の大部分が炭酸カルシウムであることから、これらを試料として<sup>14</sup>C年代測定を行えば求められると考えられる。しかしながら琉球石灰岩層を浸透してきた地下水は、大気中に含まれ



第2図 太陽泉（ティダガー）の石灰華段の模式地形断面図（写真-2の白いテープ上の地形断面）。網がけ部（青色）は石灰華段のプールを示す。

ている二酸化炭素とともに、前述のように石灰岩を溶解した際に取り込んだ古い炭酸カルシウムも含んでいると推定される。宮渡崎の太陽泉（ティダガー）の場合、琉球石灰岩層を浸透してきた地下水には琉球石灰岩の成分である炭酸カルシウムが溶解されている可能性が高い。この場合、石灰華段を構成する物質そのものが古い炭酸カルシウムを含むため、その $^{14}\text{C}$ 年代は正しい石灰華段の形成年代を示さないことになる。このためまず湧水について $^{14}\text{C}$ 年代測定を行い、その値が“Modern”とならない限り石灰華段の正しい年代を決定することはできない。もしも湧水が若い年代値を示せば、石灰華段構成物質の年代値から地下水の年代を減ずることにより、石灰華段のおおよその形成年代を推定できよう。このような考えにもとづき、3月の調査では石灰華段から年代測定試料を採取しなかった。

以上述べた考察は、太陽泉（ティダガー）でみられるビーチロックに含まれる貝化石や化石サンゴに代わりビーチロックの細粒部分を試料として採取して $^{14}\text{C}$ 年代測定を行う場合にも適用される。すなわち石灰華段が発達している地点では、海浜堆積物は上述の影響（湧水中に含まれる古い炭酸カルシウムによる汚染）を受けていると考えられる。このような考察に加えて、ビーチロックに含まれる貝化石や化石サンゴの多くが方解石に変質していたこともあり、ビーチロックから $^{14}\text{C}$ 年代測定試料を採取しなかった。

ところで石灰華段西方にあるペDESTALの高度は、当時の海水準が現在より2.5m以上高位にあったことを示唆している。このためペDESTALの高度がいわゆる縄文海進絶頂期の高海水準に対応するかどうかについて次のような検討を行った。Kawana (1985) は、宮古島では完新世に高海水準を示した証拠がないことを指摘した。そして宮古島には高位および低位の更新世海成段丘が認め

られるものの、段丘堆積物に関する年代決定は行われていないと述べた。しかしながら宮古島南部の海拔15mの低位段丘（木庭, 1980）は、段丘堆積物の特徴にもとづき最終間氷期に対比されるであろうと述べた。この資料から宮古島の最終間氷期以降の平均隆起率を計算すると、0.125m/kaとなる。この数値にもとづき6,000年前の縄文海進時の高度を求めると0.75mにしかならず、前述のペDESTALの高度から推定される当時の海水準である2.5mとは整合しない。ペDESTALの下位にあるビーチロックの形成期はそれ以前の低潮位時であり、さらにビーチロックの下位に石灰華段があるため、その形成年代はさらに古くなる。したがって、石灰華段の年代測定は困難であろうと考えた。

### (3) マイバーバマの津波石の年代

マイバーバマでは、大小さまざまな岩塊が散乱しており、その一部は明らかにビーチロック上にある。このため岩塊がビーチロックの上まで運ばれた時期はビーチロックの形成後となる。マイバーバマのビーチロックからは1201～1341 cal BPの年代が得られている（小元の未公表資料：第1表）。明和8年（西暦1771年）の大津波により打ち上げされたと推定されているハマサンゴの $^{14}\text{C}$ 年代は、 $1,205 \pm 60 \text{ yBP}$  (NU-1969)であった。この年代をCALIB 04 (Stuiver et al. 2005)により較正すると753 cal BPとなる。この結果は、津波石と推定される岩塊が明らかに更新統琉球石灰岩の転石ではないこと、また明和8年（1771年）の大津波によって打ち上げられたものではないことを証明した。さらに年代測定に供したハマサンゴは、ビーチロック上に載るという点においても層序学的にも整合している。

ところで明和8年（1771年）の大津波によって打ち上げられたとされる石垣島の津波石については次のような報告がある。すなわち石垣島の津波石の年代について、

第1表 マイバーバマおよび吉野海岸から採取したビーチロックの暦年代と安定同位体

## 吉野海岸

Lab. Code	Material	Elev.(m)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conv. Age	Cal Age* <sup>1</sup>	Lower	Upper
NU-1136	Calcarenite	-0.4	1.93	1220±65	768	686	827
NU-1260	Shell	0.0	2.23	1044±58	613	559	655
NU-1345	Coral	0.1	0.11	647±57	297	245	384
NU-1347	Shell	0.1	2.82	1077±60	640	567	582
NU-1348	Calcarenite	0.1	0.71	1185±60	734	666	876
NU-1419	Shell	-0.4	2.30	1269±58	814	754	885
NU-1420	Calcarenite	-0.4	1.61	1120±60	678	627	729

## マイバーバマ

Lab. Code	Material	Elev.(m)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conv. Age	Cal Age* <sup>1</sup>	Lower	Upper
NU-1137	Shell	-0.4	3.39	1645±65	1201	1142	1273
NU-1138	Calcarenite	-0.2	-0.08	1791±70	1341	1267	1403
NU-1139	Shell	-0.3	2.07	1712±65	1265	1202	1330

\*<sup>1</sup>: Local reservoir correction ( $\Delta R$ を0とした場合の中央値; median probability)

Omoto (1979)は*Cyphastrea* sp.を試料として1,810±100 BP (TH-416)の年代を、河名ほか(1987)は*Platygyra* sp.を試料として3,480±80 BP (HR-055)の<sup>14</sup>C年代と4,800±300 BPの<sup>236</sup>Th/<sup>234</sup>U年代を、加藤・木村(1988)は*Favia* sp.を試料として210±75 BP(TLD)の<sup>14</sup>C年代を、平良ほか(1988)は*Faviid*alや*Porites* sp.などから370 BPから3,710 BPまでの<sup>14</sup>C年代を報告している。これらの<sup>14</sup>C年代は加藤・木村(1988)を除きいずれも明和8年(1771年)とは明らかに合わない。加藤・木村(1988)が報告した210±75 BPの年代は、当時よりも明和8年(1771年)に近い数値であり、誤差範囲に入る年代として明和の大津波の年代と一致すると考えられた。しかし1995年以降にconventional age(安定同位体補正済みの<sup>14</sup>C年代)を暦年代に較正するプログラムが開発された(たとえばReimer et al. 2004)。Hughen et al. (2004)は、海洋生物の<sup>14</sup>C年代についてreservoir correctionを行う場合の補正值を報告した。Hughen et al. (2004)によれば西暦1771年に相当する<sup>14</sup>C年代は陸上の樹木であれば180 BPとなるが、海洋生物の場合西暦1771年に相当する年代は“reservoir effect(海域補正值 $\Delta=0$ とした場合)”のため535±23年となる。この結果は、加藤・木村(1988)が報告した年代を暦年代に較正しても明和8年(1771年)とはならないことを示している。

もう一つの問題は、マイバーバマに散乱する岩塊がすべて大津波によって打ち上げられたものであるのか、あるいは台風などの高波によって打ち上げられたものかの判定にある。これらの岩塊の中で「ハマサンゴ岩塊」は言うまでもなくラグーン底または礁嶺で生育していたと

考えられる。マイバーバマでは沖合1km地点に礁嶺が発達しており、外洋からの大波は礁嶺で多くのエネルギーを失っていると考えられる。巨大な台風来襲時には潮位が平常時よりも数m上昇するので、ラグーン底の物質移動を引き起こす営力は平常時よりも低下すると考えられる。しかし大津波の時には、引き波によりラグーン底の水位が低下した後で、大波が礁嶺をこえてくると推定されるためラグーン底に大きな破壊力が加わると考えることができる。もしもマイバーバマに散乱するハマサンゴ岩塊が台風などによる高波によってラグーン底からもぎ取られて移動し、砂浜に打ち上げられたとするならば、その頻度は津波の発生頻度よりも大きいため、ハマサンゴ岩塊は様々な年代を示すであろう。しかしハマサンゴ岩塊が大津波によって打ち上げられたとするならば、その年代はある範囲に集中すると予測される。このため今回得られた唯一のハマサンゴの年代のみではこの問題の解決は困難であるが、今後さらに多くのハマサンゴ岩塊の年代測定を行うことによりこの問題を解決することは可能であろう。今回明らかになったハマサンゴの較正年代は、明和8年(1771年)の大津波の年代とは整合しなかったが、先島諸島近海を震源とする巨大地震により生じた「先島大津波」の発生年代の一つを示唆しているように思われる。

## (4) 吉野海岸(バラバマ)の砂浜堆積物の安定同位体

バラバマで段丘崖下からわき出している地下水の流路跡より採取した堆積物の安定同位体は-3.4‰であった。吉野海岸から採取したビーチロックの安定同位体は、石灰砂岩(n=3)が0.7~1.9‰(平均1.4‰)、貝化石(n=3)

が2.3～2.8‰(平均2.4‰)、化石サンゴ(n=1)が0.1‰である。一方これまでに宮古島から採取したビーチロック(n=29)の安定同位体の平均値は2.2‰であり、石灰砂岩(n=11)の安定同位体の平均値は1.5‰、ビーチロックに含まれていた貝化石(n=13)の安定同位体の平均値は3.4‰、化石サンゴ(n=5)の安定同位体は1.2‰である(Omoto, 2006)。宮古島から採取したビーチロック試料の安定同位体の平均値と吉野海岸のビーチロックの安定同位体を比較すると、後者の値は平均値よりも全体に低く、この結果はビーチロックの形成が湧水により影響されたことを示唆しているように思われる。またパラバマの湧水路跡から採取した堆積物の安定同位体は-3.4‰であり、宮古島のほかの地点から採取されたビーチロック構成物質の安定同位体より著しく低い。このことから地下水がビーチロックの膠結に関与しているかどうかは、ほかの地点から採取したビーチロック試料の安定同位体と比較することにより、その影響を判断できる。

## 5. まとめ

これまでに記載した内容を要約し結論とする。

- (1) 宮古島南東、東平安名岬北西の宮渡崎太陽泉(ティダガー)で見られる棚田状の地形は「石灰華段(travertine terraces)」であり、琉球石灰岩層を浸透してきた地下水に含まれる炭酸カルシウムや炭酸マグネシウムが沈殿・膠結して形成されたと推定される。この地形は沖縄県では比類なき特異な地形であり、宮古島の「史跡名勝天然記念物」として、あるいは「Geopark」として指定するに十分な学術的価値を有する地形である。
- (2) 東平安名岬北西、マイバーバマに散在するハマサンゴ岩塊(Genus *Porites*)の一つは、 $^{14}\text{C}$ 年代測定の結果753cal BP (NU-1969)を示した。このハマサンゴ岩塊は、ほかの岩塊とともに大地震による津波でラグーン底から分離され、打ち上げられた「津波石」である可能性が高い。このため今後マイバーバマに分布する多くのハマサンゴ岩塊についてさらに $^{14}\text{C}$ 年代測定を行えば、その年代を特定することができる。その上でハマサンゴ岩塊の年代がある年代範囲に集中すれば津波石として、マイバーバマを海岸保全地区として指定すべきであろう。
- (3) 吉野海岸(バラバマ)では琉球石灰岩層を浸透してきた地下水により、その流路に沿って海浜砂が膠結された現象が観察できる。この現象はビーチロックや砂丘砂岩(dune sandstone)の形成に地下水に含まれる物質(おそらくは炭酸カルシウムや炭酸マグネシウム)が強く関わっていることを示唆している。湧水路跡から採取した堆積物の安定同位体は-3.4‰であり、宮古島のビー

チロック構成物質の安定同位体(n=29:2.2‰)より著しく低い。この分析結果から、琉球石灰岩層を浸透してきた地下水がビーチロックの形成(膠結作用)に関与したかどうかは双方の安定同位体を比較することにより判断できる。

本報告で取り扱った宮古島の特異な地形と堆積物に関する記載が、宮古島に発達するビーチロックとともに「美ら島の自然遺産」として、あるいは「ジオパーク」として指定される際に貢献できる内容となることを期待する。指定に先立ち2009年3月の現地調査をふまえて、今後(1)宮渡崎のティダガーにおいて石灰華段の精密地形測量による地形図の作成、(2)石灰華段の形成年代の決定、(3)湧水と石灰華段構成物質の化学成分の分析などが必要である。また(4)マイバーバマにおいて津波石の分布と規模を明らかにし、津波の発生年代を確定するため、さらに多くの試料を採取し $^{14}\text{C}$ 年代測定を実施する必要がある。さらに(5)吉野海岸バラバマにおいて砂浜堆積物を膠結している地下水の化学成分を分析し、膠結に関わった物質を特定することが必要である。

これらの諸問題を解決するため、2009年8月上旬に宮古島市教育委員会および宮古島市文化財審議委員会の支援のもとでふたたび現地調査を行った。その際、ティダガーにおいて石灰華段の形成過程、形成年代、構成物質を明らかにするため、またマイバーバマにおいて津波石の分布と年代を明らかにするため、さらにバラバマにおいて海浜堆積物を膠結している湧水の化学成分を分析するため、測量を行い、分析試料を採取した。これらの試料の分析結果については別の機会に報告したい。

## 謝辞

2009年3月に行った現地調査の際に、島内各地を案内して頂いた宮古島市文化財審議委員会委員長長安谷屋 昭氏および宮古島市教育委員会文化財課の久貝弥嗣氏に厚く御礼を申し上げます。東平安名岬一帯を撮影した最新の航空写真の掲載許可をいただいたアジア航測(株)に御礼を申し上げます。石灰華段の模式断面図は2009年8月上旬に行った現地調査による。現地調査に参加した方々に謝意を表す。本論文の一部は、2009年5月に仙台市で開催された2009年度東北地理学会春季学術大会で速報(小元ほか, 2009)した。本論文は5月に行った速報後に、小元が行った実験結果や収集した文献資料にもとづいてまとめたものである。本研究に平成20・21年度日本大学文理学部個人研究費を使用した。

## 参考論文

- 荒川達彦・三浦 肇 1990. 溶かされたサンゴ礁—カルスト地形. サンゴ礁地域研究グループ編「熱い自然—サンゴ礁の環境誌」, 古今書院, 215-229.
- 小元久仁夫 1995. 宮古島から採取したビーチロックの $^{14}\text{C}$ 年代. 地理誌叢, **36**(2), 18-21.
- 小元久仁夫 2004. 久米島、奥武島およびハテナ浜から採取したビーチロックの $^{14}\text{C}$ 年代と安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ). 日本大学文学部自然科学研究所「研究紀要」, **39**, 15-31.
- 小元久仁夫 2005a. 宮古島から採取したビーチロック試料の放射性炭素年代と安定同位体比. 日本サンゴ礁学会第8回大会講演要旨, 31.
- 小元久仁夫 2005b. 南西諸島から採取したビーチロックの $^{14}\text{C}$ 年代および安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) —測定資料とその分析—. 日本大学文学部自然科学研究所「研究紀要」, **40**, 1-27.
- 小元久仁夫 2007. 鹿儿島県南種子町広田遺跡周辺から採取した堆積物の $^{14}\text{C}$ 年代の意義. —Dune sandstone (rock) の年代と成因—. 季刊地理学, **59**(3), 172-173.
- 小元久仁夫 2008. 宮古島東部大浦田原海岸におけるビーチロックの成長率. 日本地理学会発表要旨集, **74**, 79
- 小元久仁夫・安谷屋 昭・久目弥嗣 2009. 宮古島で観察された特異な海岸地形 (速報). 季刊地理学, **61**(3), 187-188.
- 加藤祐三・木村政昭 1988. 沖縄県石垣島のいわゆる「津波石」の年代と起源. 地質学雑誌, **89**, 471—474.
- 活断層研究会 1991. 「新編 日本の活断層—分布図と資料」. 東京大学出版会, 437.
- 河名俊男・中田 高・大村明雄 1987. 石垣島大浜の「津波石」のサンゴ化石年代. 第四紀研究, **26**(1), 155-158.
- 木庭元晴 1980. 琉球層群と海岸段丘. 第四紀研究, **18**(4), 189-208.
- 佐渡耕一郎・亀尾浩司・小西健二・結城智也・辻 喜弘 1992. 琉球石灰岩の堆積年代についての新知見—沖縄県伊良部島のボーリングコア試料の石灰質ナンノ化石分析より—. 地学雑誌, **101**, 127-132.
- 地団研地学事典編集委員会 (編) 1976. 地学事典 (第4刷). 平凡社, 582.
- 平良初男・上地裕光・中井信之・中村俊夫 1988. 加速器質量分析計利用における沖縄県石垣島「津波石」の年代測定. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, **1**, 72-75.
- 堀井洋一・下岡広志・浅山勇介・森永速男・庫本正 1990. 秋芳洞における石灰華段丘 (百枚皿) の形成解析とその成因. 洞窟学雑誌, **15**, 34-41
- 本田伸幸・辻 喜弘・松田博貴・早乙女順一 1994. 琉球列島伊良部島の第四系石灰岩の堆積相と海水準変化. 石油技術協会誌, **59**, 86-98.
- Bates, J.A. and Jackson, R.L. (Eds.) 1980. *Glossary of Geology* (Second Edition). American Geological Institute, Falls Church, Virginia, 663.
- Hughen, K.A., Baillie, M.G.L., Bard, E., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Kromer, B., MacCormac, G., Manning, S., Ramsey, C.B., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. 2004. Marine 04 marine radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, **46**(3), 1059-86.
- Kawana, T. and Pirazzoli, P.A. 1984. Late Holocene shorelines and sea level in Miyako Island, the Ryukyus, Japan. *Geogr. Rev. Japan*, **57**(2), 135-141.
- Kawana, T. 1985. Holocene sea-level changes and seismic crustal movements in a marginal coral reef area: The central and southern Ryukyu Islands, Japan. *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress*, Tahiti, 1985, **3**, 205-210.
- Omoto, K. 1979. Tohoku University Radiocarbon Measurements VII. *Science Reports of Tohoku University, 7th Series (Geography)*, **29**(2), 248.
- Omoto, K. 2006.  $^{14}\text{C}$  corrections based on isotope fractionations for beach rock samples, SW Japan. In *LSC 2005, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry*, 429-434.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C.B., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J., and Weyhenmeyer, C.E. 2004. INTCAL04 Terrestrial radiocarbon Age Calibration, 0-26 Cal KYR BP. *Radiocarbon*, **46**(3), 1029-1058.
- Russell, R.J. 1962. Origin of Beach Rock. *Zeitschrift für Geomorphologie* Bd. 6, 1-16.
- Russell, R.J. 1963. Beach rock. *The Journal of Tropical Geography*. **17**, 24-27.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. and Reimer, R.W. 2005. CALIB 5.0 [WWW program and documenttation] .