

京都五色浜岩石海岸の微地形—TafoniとGnamma—

The Micro topography of Rocky Coast in Northern Kyoto Prefecture —Tafoni and Gnamma—

池田 碩*・待鳥 良治**

Hiroshi Ikeda & Ryoji Machidori

I. はじめに

岩石海岸を構成している微地形の形成要因や形成過程について考察することが本研究の目的である。日本海に臨む京都府北部網野町の流紋岩質凝灰岩からなる五色浜一帯は山陰海岸国立公園に所属する景勝地である。付近には空中写真で示すように、海岸段丘が発達しており、そのうち最下段には波浪によって形成された海食台地である岩石床が広がっている。その岩石床も図-1で示すように、2～4 mの高度差で2段に分かれている。岩石床として形成された当時は同様な環境下であったものが、地盤の隆起（段丘化）により分化したものであるが、しかし現在両岩石床面上に存在している微地形は、かなり異なっていることに気づいた。そこで、本論では種々の微

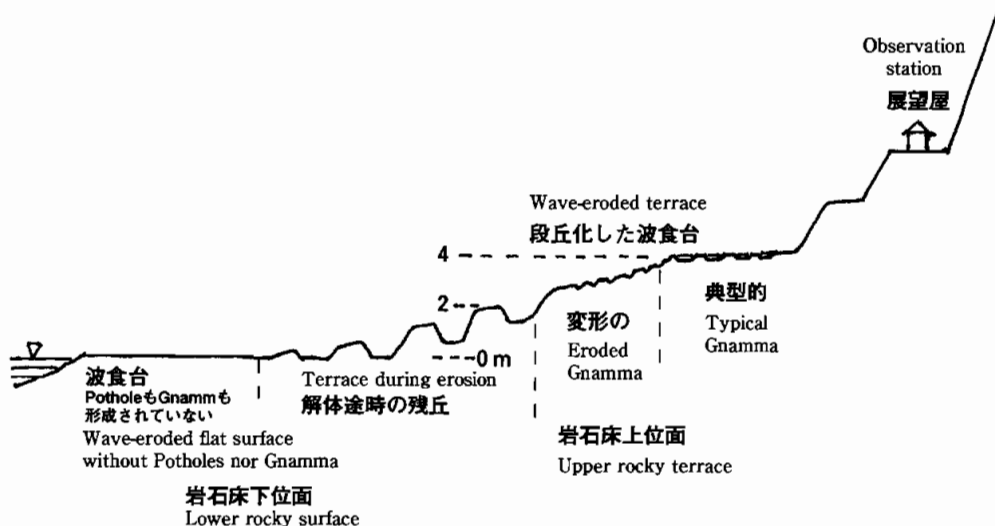


図-1 五色浜 波食台岩石床面の断面図

Fig-1 Section Through the Goshikihama Coast Rocky Wave-cut Shelf

地形のうち特に特徴的な存在であり、さらに分布状況に違いがみられるTafoniとHoleに絞って報告する。

本報告の記載方法は、筆者がこれまで発表してきた一連の報告書と同様にし、内容を対比し検討できるようにした。すなわち、調査地と周辺地域とのかかわりからも理解できるように、まず空中写真を示した。次に各種の地形については、できるだけ詳細に具体的に観察結果を表現できるように、カラー写真で紹介しつつそれぞれを解説していくことにした。

II. Tafoniの形成

Tafoniとは岩盤や岩塊の表面に、垂直方向に形成される窪み状の穴のことである。Tafoniの形成には、「気候地形」的要因によるものと「岩石地形」的要因によるものの2タイプが存在する。まず、「気候地形」的要因の方は、岩体の表面やその直下も含めて風化作用があまり進まないような乾燥した気候環境でしかも上昇気流の強い地域に、さらに花崗岩や固結の進んだ砂岩のような緻密な岩石に生じている。このため形成されたTafoni穴の内部の岩体も新鮮で固結している。気候は熱帯-寒冷帯に関わらず乾燥気味な地域で、穴内奥上部に付着した湿気中の水分が凍結と融解を繰り返す冬~早春期に膨張して周囲を破壊させていくことによって形成される。反対に岩体の風化を進めやすい湿潤な気候地域には形成されない。Tafoniの形成にとって最もよい気候環境は、雨は少なく若干気流に水分を含むくらいの乾燥した気候、すなわちケッペンの気候(区)では温帯の地中海性気候や半乾燥のステップ気候が最適である。このため日本には花崗岩地域は広く分布するが、Tafoniは地中海性気候に近い瀬戸内海周辺地域を除くと見当たらない。

次に「岩石地形」的要因の方は、凝灰岩や礫岩のように固結はしていても軟らかく風化が進みやすい岩体に形成されるタイプである。さらに岩体の表面のみが、苔や微生物の作用であたかもニス塗ったようにコーティングされ固結するのに対し、逆にその直下の岩体は風化が進むような岩体すなわち風化の逆転(層)が形成しやすいような環境と岩石であれば、気候とは関わりな

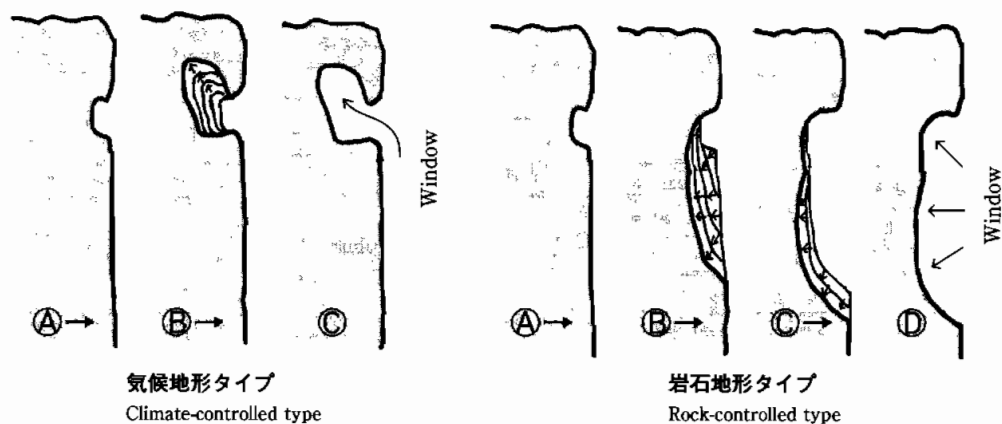


図-2 Tafoniの形成と拡大過程の模式図

Fig-2 Diagram of the Development of Tafoni Micro-topography

く形成されるため日本でも各地のしかも山間地でも海岸周辺にも大小様々なものがみられ、奇景や景勝地となっているところもある。

今回の本調査地五色浜の場合は、1500～1600万年前に堆積した流紋岩質の角礫凝灰岩層にできた典型的な後者タイプのTafoniである。この地のTafoniの形成環境や形成速度を調査する目的で、我々は着色実験を行った。着色は2003年9月に開始、その後も数回繰り返し観察を続け着色部がうすれ消えていく過程とその時期を追跡した。その結果、コーティングしている表皮に当る固結した部分が取れると、急速にその直下の風化し軟弱化した岩体が季節を問わず剥ぎ取られて行くことがわかった。これも前者の気候地形タイプのTafoniの場合の凍結融解が冬～早春期に進む結果とは異にする。すなわち、ホール内の中央部から下方にかけて剥離して岩粉が落下していること。さらにカラー写真B・Cページの着色実験した例では、わずか1年2ヶ月間なのに急速に進行していることがわかった。このことから、前者の「気候地形」タイプの場合は形成されたTafoniの穴の形状が穴奥の上方へと拡大していくのに対し、「岩石地形」タイプの場合は穴の形成が進むに従いむしろ中央から下方へと拡大していることが着色した岩粉の落下の状況からわかってきた。すなわち岩石地形タイプのTafoniは、形成の進行が速いばかりでなく大きく拡大し岩盤の壁面全体へと広がって、穴よりも巨大な洞さらには風化侵食壁面を形成していく。このように急速に拡大していく結果、五色浜のTafoni面は写真（B・C・Fページの下）で示すような大小さまざまな奇形的景観を形成していることがわかった。

Ⅲ. Hole(s)の形成 = PotholeかGnammaか

岩石床の水平面上部に形成されている穴（群）Holesには2つのタイプがある。まずひとつめは、岩石床面に形成されたポットホールPotholesである。ポットホールには河川の溪流沿いの岩石床面に形成される場合が多いが、海岸でも形成される。どちらも形成要因は、窪みに入り込ん

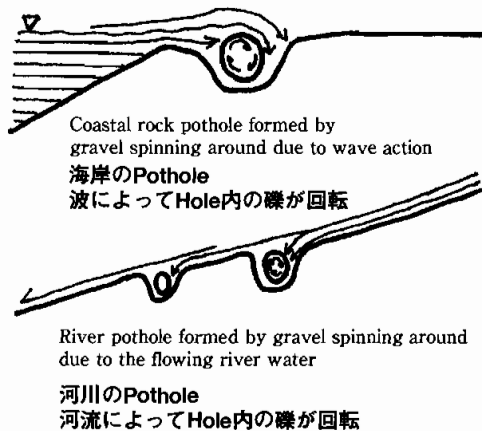


図-3 Pothole形成の模式図
Fig-3 Diagram of the Development of Pothole Micro-topography

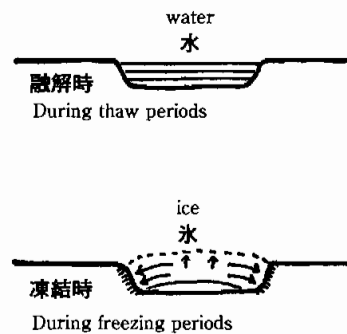


図-4 Gnamma形成の模式図
Fig-4 Diagram of the Development of Gnamma Micro-topography

だ礫が水流によって回転・転動していく過程で窪みが徐々に丸く深く大きな穴へと成長していくことにより、きれいな穴すなわちPotholeが形成されたものである。もうひとつのタイプは、岩石床面上部の窪みに水が溜まり、それが日本の場合であれば冬季～初春にかけての寒冷期に凍結－融解を繰り返していくうちに、水は凍結する時体積を約1割膨張させるため、水が溜まった岩体の窪みを凍結する毎に少しずつ砕きながら徐々に丸い穴へと成長させてきれいになっていくものでグナマ・ナマGnammaという。その形成には前記のポットホールの形成のような礫の必要はないため、表面の形態としては丸いきれいな穴だが、深さが一定の皿状でその底の表面はザラザラしている。故にこのようなグナマは寒冷地域に発達しており温暖な西南日本や積雪に覆われてしまう東北日本ではほとんどみられない。では本調査地五色浜のHole(s)は、はたしてどちらのタイプのものだろうか。

まず分布状況を調査した結果、低い方の岩石床面上にはほとんど形成されておらず、波打際に若干みられる位である。それに対し高く段丘化した岩石床面上には至るところに大小の穴が形成されている（写真D・E・Fページの中）。しかもそれらを詳細に観察し調査してみると、穴の中に礫は存在していない。穴の底部はほぼ平であり浅い。さらには底の表面はザラザラしている。これらのことから、この地のHole(s)はPotholesではなくてGnammasであると判断した。だとするとこれまでの報告書とは異なる。日本ではこのように明確にグナマとした報告は知らない。このことにも注目しさらに検討していきたい。

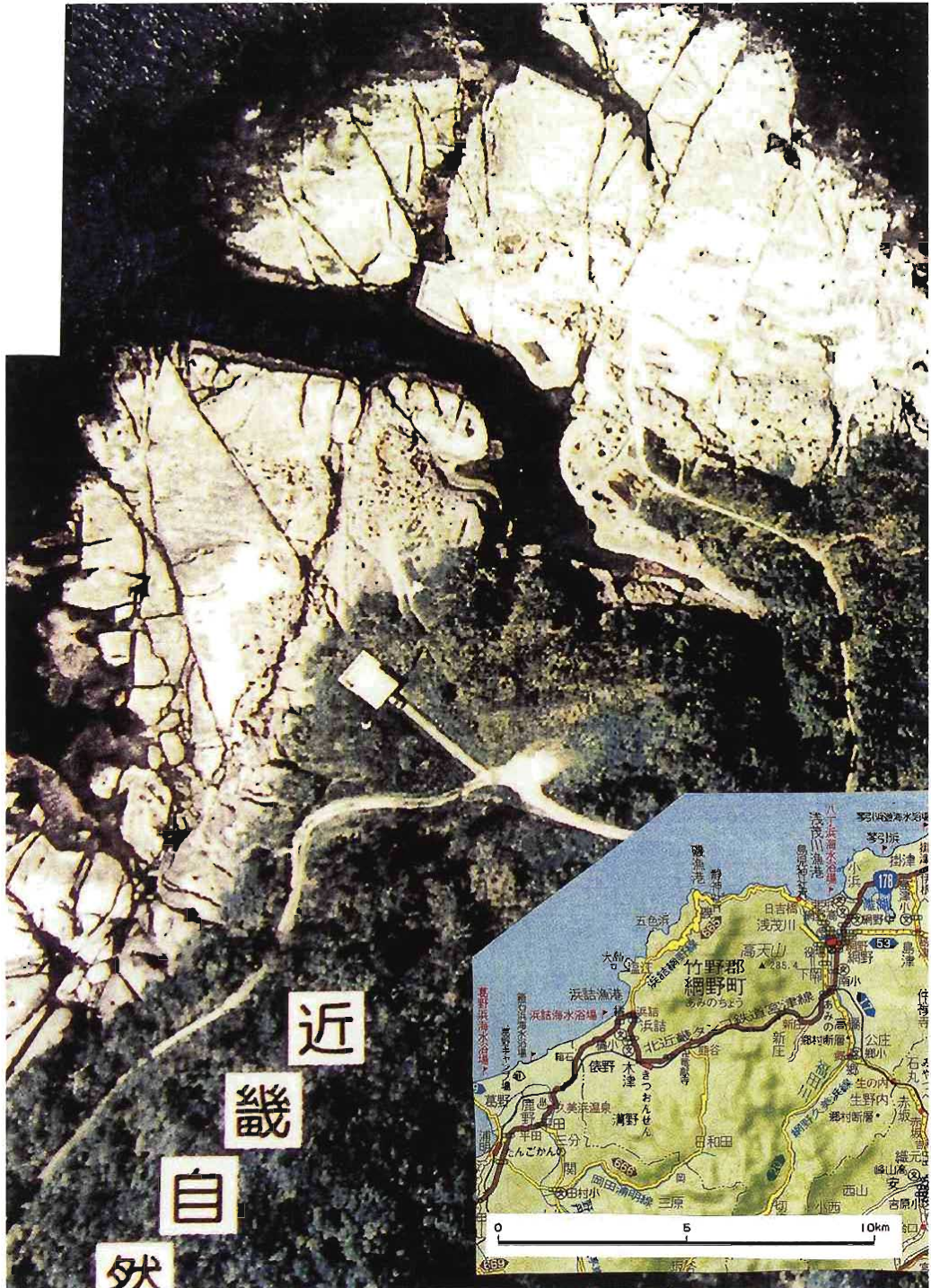
IV. さいごに 一まとめにかえて一

凝灰岩からなる五色浜の海食台地、すなわち岩石床面上に形成されている微地形とその形成過程について調査した。特に垂直方向にできる穴であるTafoniの形成要因と、水平方向にできている穴も形成要因からPotholeかGnammaなのかを中心に考察した。

その結果、Tafoniの形成は気候や気象の特徴「気候地形」に形成要因を求めるよりも、凝灰岩の性質すなわち軟らかい岩体とその地表部で化学的コーティング作用で固結化が進んだ後の、岩肌からの解体過程に基づく「岩石地形」の特徴に起因することがわかった。このため一端Tafoni化による岩肌の侵食解体が進み始めると、季節を問わず急速に進行していくことが実験によって証明できた。しかもこのことからTafoniとしての形態・形状も拡大していくに従い、巨大な洞状の穴から風化侵食壁面となっていくことがわかった。

水平方向に形成される穴（群）Hole(s)は、岩石床面のうち最も新しい下位の面上にはほとんどみられず、わずかに波打際にPothole(s)が形成されているにすぎない。これに対し、同じ岩石床面でありながら段丘化で上位の面となった部分には、至るところに大小のHole(s)が形成されている。しかも穴内には礫が入っておらず穴の底の深さがそろい皿状である。このことから水流によって穴内に入った礫が回転・転動しつつ形成されていくPotholeではなく、窪みに溜まった水が凍結と融解を繰り返す時に水が約1割膨張する時のエネルギーで、穴の周囲の岩肌を砕いていくことによって形成されてきたGnammaであることがわかった。グナマGnammaという微地形の名称が日本ではあまり馴染みがないのは、日本では形成環境が限られており見当たらなかったことや、

写真A ページ：京都府北部五色浜岩石海岸の空中写真
Photo Page A : Air Photo of the Study Area



写真B ページ：タフォニホール内の浸食状況

Photo Page B : Examples of Eroded by Tafonization



In the Central portion of the hole
the Colored area is being eroded

The eroded rock surface material
is deposited at the bottom of the hole

着色—2007.7.25
観測—2008.9.07

ホールの底の部分には、着色部
から剥離し落下した岩粉が堆積
している



写真C ページ：風化浸食壁面の破壊の状況（メジャ=1 m）

Photo Page C : Tafoni and Its Topographical Development Process on the Coast



(ruler=100cm)



date-color was applied—2007.7.25
date-color was observed—2008.9.07

blow-up photo of the central photo of the upper left
photograph



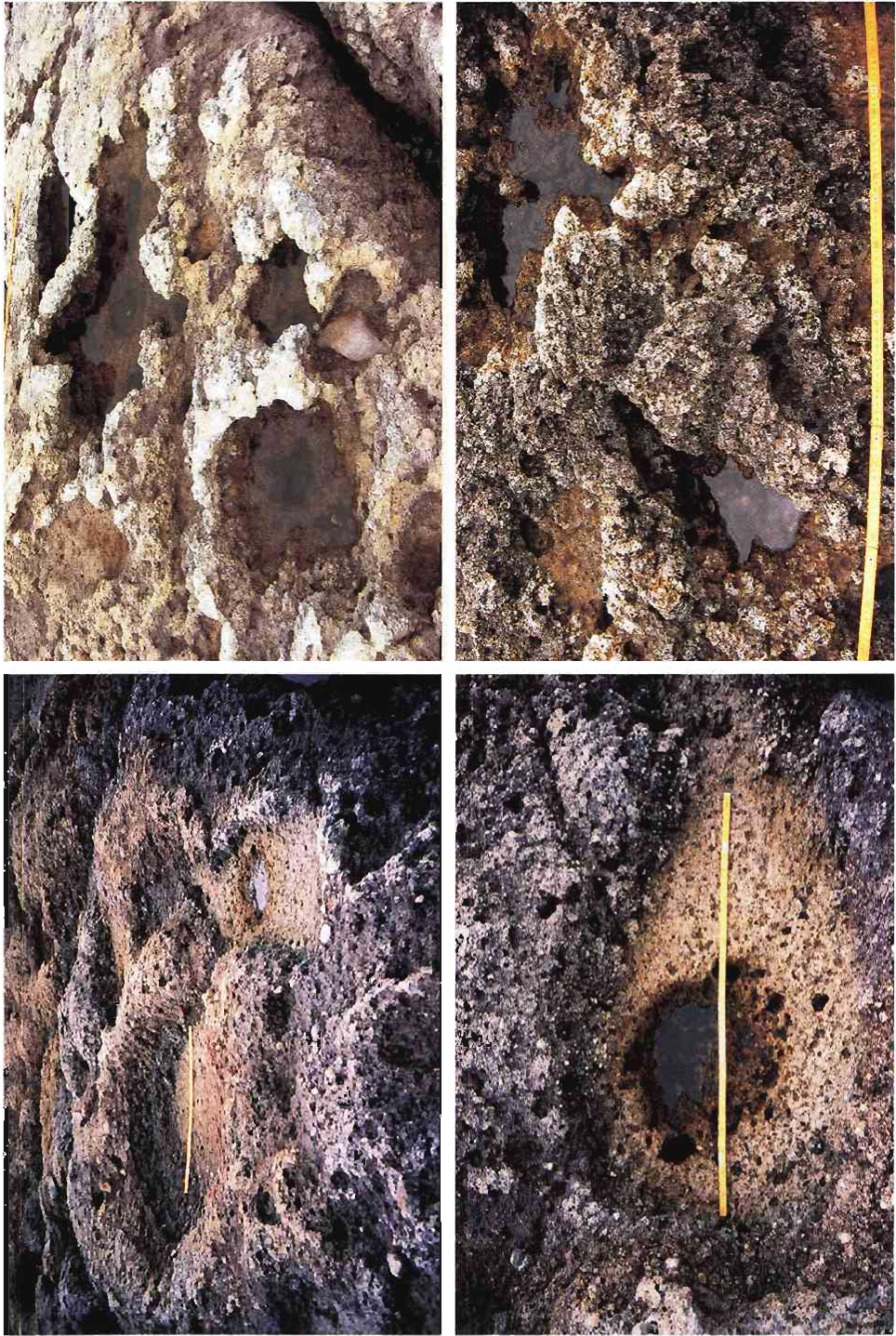
左側写真の中央部を拡大

写真D ページ：岩石床上位面の典型的なグナマ群 メジヤ=1 m

Photo Page D : Development of Gnammas (Wave-eroded Upper Rocky-Terrace-Surface)



写真E ページ：岩石床上位面の解体緩斜面上のグナマ群
Photo Page E : Development of Gnammas (Eroded Rocky Terrace Surface)



写真F ページ：調査地域の全景

Photo Page F : View of the Entire Study Area



東方を望む
toward the east



急速に解体の進む岩石床上位面
Eroded Upper Surface (Terrace)



筆者等のような形成要因を中心とした視点から検討されてこなかったことによる。このタイプのホールは、外国でもそれぞれの地域での呼び方で紹介されている場合が多い。例えばその形状から北欧では悪魔の生贄の大鍋の意があるオッフアケッセルとかオリサンガスという。グナマはオーストラリアの原住民アボリジニーズ達の使用用語で、オーストラリア・アデレード大学のトワイダルC.R.Twidale教授が本格的に調査研究し学会発表した後に、諸外国でも普及するようになってきた用語である。さらに日本ではPothole(s)が河川・海岸を問わず全国各地に存在しており、表面の丸い穴の形状が良く似ているため、当然のごとくPothole(s)と見なされているのである。

五色浜に関するこれまでの報告書にも、Pothole(s)として紹介されており、訂正する必要がある。さらに他の地域で紹介されているPotholeとされるものの成因にも、見直しが必要であろうと考えられる。このような視点から今後もさらに調査を続けたい。

注

- 1) J.N.Jennings (1968) : Tafoni・Honeycomb・Pothole 「The Encyclopedia of Geomorphology」 Dowden Hutchinson.
- 2) 豊島吉則 (1981) : 海蝕罅穴。「地形学辞典」所収二宮書店.
- 3) 小野有五 (1981) : 蜂の巣状風化。「地形学辞典」所収二宮書店.
- 4) 伊藤隆吉 (1979) : 「日本のポットホール」.古今書院.
- 5) 池田碩 (1998) : タフォニ・ポットホール・グナマ「花崗岩地形の世界」所収古今書院.
- 6) C.R.Twidale (1963) : Gnammas,Rev.Geomorph.Dyn14.
- 7) C.R.Twidale (2002) : Natural History of Kangaroo Island.Royal Society of South Australia.
- 8) 池田碩 (2006) : オーストラリア シドニー湾 マンリー海岸に生じている風化微地形.奈良大学総合研究所 所報.第14号.
- 9) 池田碩 (2008) : 岩石海岸の微地形 - HoneycombsとPotholes -.奈良大学紀要. 第36号.
- 10) 山陰海岸国立公園協会 (1975) : 五色浜海中公園調査報告書.
- 11) 網野町史編纂委員会 (1992) : 気候・地質。「網野町史 (上)」所収.

The Micro topography of Rocky Coast in Northern Kyoto Prefecture
—Tafoni and Gnamma—

By: Hiroshi Ikeda and Ryoji Machidori
Nara University

Goshikihama coast is a rocky wave-cut shelf of welded tuff located on the northern coast of Kyoto Prefecture in western Japan. This paper reports on the process by which its micro-topography developed. It concentrates specifically on *Tafoni* holes on the vertical surfaces in comparison to *potholes* and *gnamma* that developed on the horizontal surfaces.

Tafoni is a climate-controlled geomorphology which forms on vertical rock surfaces due to the characteristics of soft rock. Its surface is subjected to the chemical actions of the freezing and thawing of water which gradually erodes the surface to a rock-controlled geomorphology. Experiments by the authors have shown that this erosion process proceeds with the changing seasons. Furthermore, as the process progresses, the eroded surface gradually expands into cave-shaped holes by weathering erosion of the cliff surface.

Holes formed on the horizontal surfaces; almost none formed on the lowest horizontal surface, but they did form on higher terrace horizontal surfaces. There is no gravel in the bottom of these dish-shaped holes, so they are not *potholes* which form due to the revolution and movement of the gravel therein. Rather, these holes are *gnamma* formed by the repeated freezing and thawing of the water that collects in the holes. It is the energy of this action that erodes the edges of the holes making them larger.

The holes on the Goshikihama coast have previously been reports by others to be *potholes*, however the authors' research has shown this not to be so. There is a need to correct previous misconceptions about the hole micro-topography on this coast. Further studies on this issue are contemplated by the authors.