紀伊半島、古座川流域のタフォニ（風化洞窟）の特質とその形成
—虫喰岩と牡丹岩を中心として—

大橋　健　*Tsuyosi OHASHI*　　在仲　勤　*Tsutomu ZAINAKA*
沢　　勲　*Isao SAWA*

On the Characteristics and the Formation Process of Tafoni (Weathering Caves) in Musikui-iwa and Botann-iwa developed along Koza river, Kii Peninsula

1．緒　　言

地形学辞典（1982）によると、タフォニ（Tafoni）とは「風化作用によって岩石の内部の物質が除去されて生じた穴状の小規模の地形。元来はコルシカ（Corsica）の用語。A. Penck が最初にコルシカの花崗岩にこのような風化による地形を発見したのでその名がある。粗粒または中粒の結晶質岩によくみられるが、砂岩・石灰岩・石英岩・結晶片岩などにも発達する。穴の直径や深さは数センチから数メートル程度で、形は楕円形または球形に近い。もっともよく発達する地域は熱帯および亜熱帯の半乾燥地域といわれるが、湿潤地域の海岸にも少なくない。この種の地形の成因として古くは風食や化学的風化等があげられたが、最近では塩の結晶作用（Salt Cristalization）にもとづく塩類風化によるとする説が強い」とある。

また、タフォニと類似した蜂の巣風化（Honeycomb Weathering）については「風化作用の一種で、岩石の表面に蜂の巣状の穴があく現象を指す。砂岩の表面に生じることが多く、直径数センチメートルの小孔が密にうがたれて蜂の巣状を呈する。Olliver. C. D（1969）は鉄などで満たされた節理が風化に対して抵抗性をもつため、そうした部分では節理が密になっている部分が突出してつくられると述べ、一種の差別的風化（Differential Weathering）である

としている。一般に乾燥地域では、花崗岩・砂岩などの粗粒岩において、岩石中の水分が表面での乾燥によって表面に吸い寄せられ、表層部で種々の化学成分を沈殿させて固い皮殻をつくることが多い。こうした皮殻の一部が侵食されると、皮殻の下のやわらかい部分が選択的に侵されて岩石表面に大小の穴があけられる。この現象を穿孔風化（Cavernous Weathering）とよび、岩石表面の穴はタフォニ（Tafoni）またはニチ（Niches）とよばれている。

乾燥地域では一度表面にくぼみを生じると、その部分は水分を保ちやすいので水和作用が卓越し、差別的風化がいっそう促進されると考えられている。蜂の巣状風化による穴はタフォニに比べてずっと浅く、またタフォニより小さく密にはいる点に特徴がある。これは蜂の巣風化が固くなった表面皮殻にだけ発達し、風化が下層の軟かい部分にまで及ぶと、蜂の巣状を呈した表層全体が剥落してしまうことによる。乾燥乾燥地域に特徴的とされているが、風の強い海岸でも見られる。」と解説されている。

タフォニとはタフォニ化作用 Tafonization（A. Rondeau, 1961）によって垂直な岩壁や岩塊の表面に形成された穿孔状風化洞窟のことであり、その発達位置により基底タフォニ（Basal Tafoni）・側面タフォニ（Side Tafoni）・岩塊タフォニ（Boulder Tafoni）、単一（Single Tafoni）、連結（Coupling Tafoni）、付随（Attend Tafoni）、デッケン（Decken Tafoni）など、複合（Complex Tafoni）さらに活タフォニ（Active Tafoni）と化石タフォニ（Inactive Tafoni）等の分類（C. R. Twidale, 1982 etc）がある。花崗岩・砂岩・火砕岩に多いが、岩石の種類や年代には関係のない微地形といえる。あらゆる気候帯で、内陸部だけでなく海岸部においても発達する。大気圏に接する岩壁の表面は黒く固い殻（硬化皮殻）のようになり、その内側は少しずつ崩れて、穴は上と側方そして奥へと広がり、丸天井をもつ球（袋）状をなし、入り口（洞口）上方の殻はあたかも庇（ひさし）（Visor）のようになる。大きさは直径が数㎝、深さ数㎝の蜂の巣状穿孔をなすものから最大級では直径10数m、深15mに達するものがある。

その分布や成因に関しては今なお不明な点が多く、定説がまだ見られない。乾燥した特殊な気候環境下にいてのみ発達する（気候地形成帯地形）と見なす

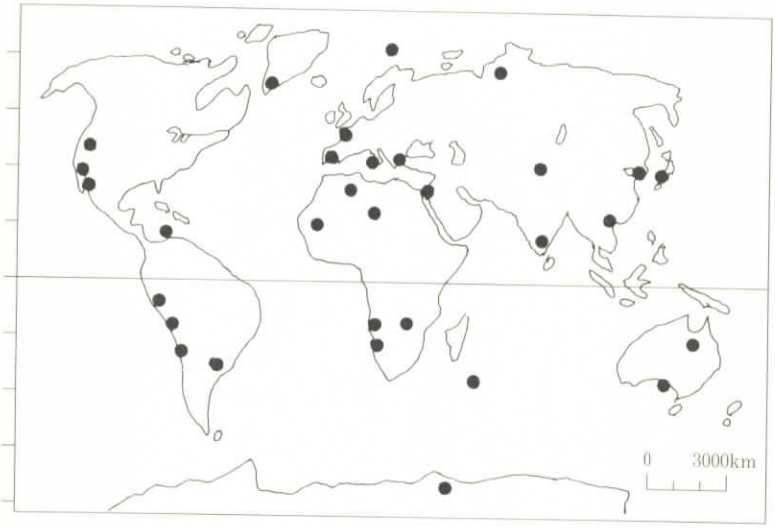


図1　世界のタフォニ分布図（A. Rondeau 1961、J. Büder 1977に加筆）
The Distribution Map of Tafoni in The World

説も根強い（小口高, 1996）。最近では南極やグリーンランドなどの極地や香港など熱帯でも検出され、全地球的規模の分布を示し、あらゆる気候帯、岩石に生じるという見解（Selbey, 1979）もある（**図1**）。

わが国ではタフォニ（風化洞窟）が発達しないと長らく考えられてきた。一方、朝鮮半島では山間部において多数の花崗岩タフォニの存在が報告されており、その違いは両国の気候環境の差異に起因し、タフォニの大部分は過去の気候環境下で形成したもの（化石地形）であるという見解もある（金周煥ほか, 1978）。

湿潤変動帯に位置する日本では岩石の風化速度が大きく、岩盤の破砕が著しいためタフォニが形成されにくく、かつその保存条件も劣悪であるという（池田, 1998）。一方、北陸の石川県小松市にある那谷寺（大橋, 1996）、東北の宮城県松島付近や山形県立石寺、鳴子峡谷（宇留野, 1972,82,87）、新潟県佐渡ヶ島・関東の千葉県野島崎（松倉, 1996）、山陰の島根県大田市（横田, 2002）、

隠岐（大橋，2002）、四国の愛媛県岩屋寺（大橋，2002）、高知県西南部（池田，2000）、そして九州の熊本県天草上島（西山，2002）等において火成岩地帯を中心に近年各地でタフォニが検出されており、その分布は全国的な広がりを示す（**図2**）。それらの一部は海食洞と見なされてきたものである。ただし、近畿地方においてはいまだタフォニの存在は未確認である。

図2　日本のタフォニ分布図（大橋原図）
The Distribution Map of Tafoni in Japan

筆者の大橋は三重県熊野地方、和歌山県南部の古座川流域に特異な風化洞窟の存在することに注目し、タフォニの可能性が大きいと予測していた。今回の現地調査（2002年12月末）の結果、池野山の「虫喰岩」（国の天然記念物指定）、月野瀬の「牡丹岩」の呼称で知られている古座川町の奇勝が熊野酸性岩（第三紀火成岩）地帯に形成された風化穴がまがいもないタフォニであることを確認した。

さらに、古座川町南端部を幅500～800m、約20km東西方向に延びる火成岩地帯（ウツギ石）の岩壁中の各所にタフォニが発達しており、さまざまなタイプや発達階程のものが存在していることが判明した。

本稿では虫喰岩を中心に概要の報告に留め、造洞層の成分分析、岩石学的分析等を踏まえたタフォニの形成機構、形成時期や速度等についての考察は改め

紀伊半島、古座川流域のタフォニ（風化洞窟）の特質とその形成（大橋、在仲、澤）

て報告する予定である。

2．調査地域の地形と地質

2.1　地　形

2.1a　古座川中流部の水系異常

古座川は大塔山（1,123m）の南斜面に発し、約20km、600mの落差をもつ急斜面を必従的に南流し、そのまま潮岬の西方の海岸に注入するように見えるが、海岸から10kmほど手前の相瀬付近（標高20m）で流れの方向を左に直角に屈曲している。そのあと海岸線に平行する方向で古座川町南部を東西に約10km流れ、宇津木付近で南東に右折して直線状となり一気に古座で熊野灘へ注ぎ込んでいる。宇津木から東方の地蔵峠を経て、那智勝浦町浦神にかけ凹地が連続している。

相瀬から宇津木さらにその東方の太地にかけての河谷と凹地地形は古座川下流部を横木状に延びる古座川弧状岩脈（ウツギ石）の分布に規定された適従谷－差別侵食による組織地形－の様相を示している。その線より北側の河谷は穿入蛇行が著しく、支流である小川の滝の拝には見事な甌穴 Pot Hole 群が発達している。

2.1b　海岸段丘

紀伊半島の海岸段丘は高位段丘群（H）と低位段丘群（L）に2大別され、さらにそれぞれが3面に細区分されている（米倉 1968)。H1面、L1面はA面（沖積面）は同様に厚い堆積物からなり、半島全域に分布する。L1面の隆起汀線分布には半島南端部の相対的隆起にともなう北西方向への傾動と西海岸の地質構造と調和的な波状変位が認められる。

地形発達史から海水準変化は、H1面形成期（H期)、L1面形成期（L期)、沖積面形世期（A期）と3回の沈水期をともなう離水過程を反映し、A期とL期は後氷期とリス・ウルム（Riss／Wurm）間氷期に形成されたものと推定さ

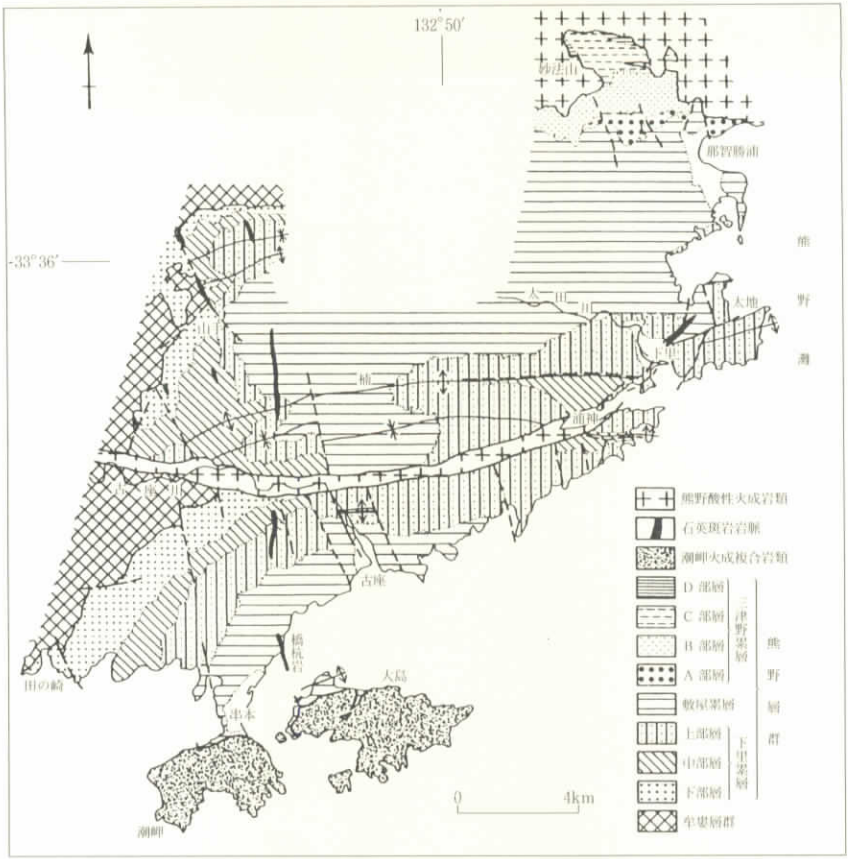


図３：熊野層群南部地域の地質図（日本の地質、近畿地方1987）
Geologic Map of Southern District in Kumano Formation

れている。

Ｌ1面の高度分布は串本から西方へ50～30ｍと低くなり、Ｈ面の高度分布は新宮付近では123ｍ、いなみ付近では89ｍと地域的変化が大きい。

2.2　地　質

三重県尾鷲市から和歌山県那智勝浦町にかけて、紀伊半島東南部の20×60㎞

の地域には酸性の火成岩類が分布する。かっては石英粗面岩と呼ばれたこの火成岩類は、古いものから神ノ木（このき）流紋岩・凝灰岩・花崗斑岩に区分される。花崗斑岩のK-Ar年代は、柴田・野沢（1967）によると、4,200万年前、川井・広岡（1966）によると、4,300±40万年前である（**図3**）。

和歌山県那智勝浦町の浦神から古座川の中流にかけて、熊野層群を貫いてほぼ東西にのびる弧状の貫入岩体がある。この岩体は、孤の長さ約22kmにおよび、幅約500m（最大800m）の内側に傾斜した円錘形岩床の一部であり、約80%が凝灰岩、約20%が花崗斑岩で構成されており、いずれも熊野酸性岩類のものとよく似ている。

このほかにも、小規模な酸性火山岩脈がみられる。さらに、流紋岩質の結晶凝灰岩からなる火砕岩が小岩脈として熊野層群を各地で貫いている。

特異な風化洞窟の形成と深く関る凝灰岩は花崗斑岩の岩体の周辺に分布し、一部は花崗斑岩に捕獲されている。熊野市西部の札立峠では、凝灰岩が神ノ木流紋岩を整合におおう。また、熊野層群を不整合におおうか、熊野層群を貫いている。凝灰岩は岩相から層理の明瞭な軽石凝灰岩と層理の不明瞭な凝灰岩の2種類に区分される。前者は量が少なく、散在しており、長さ3cm以下の扁平な暗緑色のガラスのレンズを多量に含み、これが面構造をつくっている。後者は凝灰岩の大部分を占めており、軽石をほとんど含まず、斑晶鉱物の量が一般に多い。風化面では、直径約2mmの青緑色の長石・石英が突出し、粗い地肌をつくり、顕微鏡下では、破片状の石英・斜長石・カリ長石のほか黒雲母・柘榴石・粘土鉱物が見られる。

第三紀中新世の堆積岩である熊野層群は紀伊半島の東南部、和歌山県の東牟婁郡と西牟婁郡の一部、三重県の南牟婁郡に広く分布する。基盤は四万十累層群の日高川・音無川・牟婁の各層群であり、熊野層群はそれらと斜交不整合の関係にある。潮岬火成複合岩体とは一部指交、一部貫入の関係にあり、熊野酸性火成岩類・大峰酸性岩類の貫入をうけている。また第四紀の海岸段丘層に不整合におおわれる。

本層群の層序と岩相は、泥岩・砂岩と泥岩の互層・砂岩および礫岩からなり、層厚は1,500～4,000mにおよぶ。南部地域－那智勝浦坂足から古座川町松根東

方以南の地域で古座川町と那智勝浦町の大部分、東牟婁郡古座町・同太地町、西牟婁郡串本町東部に相当する。北部では層厚が約2,500mで、南方にむかって急激に厚くなり、南縁部では4,000m以上となる。下位から、下里・敷屋・美津野の3累層に区分される。

2.3 地 史

タフォニ化と密接な係りをもつ貫入岩体のなりたちの概略は下記のようである。

池野山～高池～宇津木～月野瀬～明神～蔵土にいたる弧状となった流紋岩質火砕岩（通称ウツギ石）は中新世新期（約1,400年万前）に紀伊半島南東部でおこった大噴火活動によって生じた。その後ウツギ石に沿って花崗斑岩（鬼ミカゲ）が貫入した。

火山活動は、当時地表面に噴出、大噴火であったが、今日見る姿はその後1,000万年以上経過し、地表部が侵食されてしまい、噴火当時は地中にあった部分である。

火山活動の様子は、先ず地表部の弱いところへ集中的に粘性が高くガスの少ないマグマが噴出した。両方の火山活動の間隔は数時間で、活動としては1回と見てよい。それは粘性の低いマグマからの生成物（ウツギ石）と粘性の高いマグマからの生成物（鬼ミカゲ）の成分が同一であることからうかがえる。ただ、噴火ではあっても、今日見える姿はかっての地中部分なので火成岩であるが貫入岩と分類される。

この火山活動でマグマ中に多く含まれる金属が熱水のなかに溶けたかたちで地殻の割れ目に入り込み、冷却にともない結晶化し、火山岩にそった堆積岩中に銅、鉄などの鉱脈ができた。

石英斑岩（鬼ミカゲ）、流紋岩（ウツギ石）を問わず本町に産するものはガーネット（石榴石／ザクロ石）を含むという共通の特徴を有し、石碑、石造物等の産地を推定する大きな手がかりとなる。

ウツギ石と鬼ミカゲ石は近くで見れば区別が容易だが、遠くの岩峰として見る場合、ウツギ石は風化されやすく丸尾根になりやすい。粒に方向性がなく、

節理が不明瞭である。これに対して、鬼ミカゲ石はゴツゴツした岩峰をなし節理が明瞭である。

添野川から佐本間のトンネルの添野川出口、大桑地内で崩積層上層に、火山灰が発見されている。それがAT（姶良）火山灰層（22,000年前）か、Ak（アカホヤ）火山灰層（約4,000年前）なのかは不明である（「古座川文化財」, 1985）。

2.4 「高池の虫喰岩」の成因

虫喰岩は和歌山県東牟婁郡古座川町にあり、1935年12月24日に国の天然記念物に指定された。品田　穣は「日本の天然記念物」（1955）のなかで次のように解説している。「奇岩怪峰の続く和歌山県の古座峡に虫喰岩がある。流紋岩質凝灰岩が風食や水食をうけたものであるが、風化を受けやすい部分が穴となり、遠望するとあたかも虫が喰った穴のように見えることからこの名がある。全体で高さ60mほどもあり、西面は全面虫喰い状になっている。一つ一つの虫喰い穴は直径10㎝内外、深さ4～5㎝のものが最も多いが、なかには1mをこえる穴も少なくなくない。凝灰岩には時としてこのような虫喰いが見られ、石材として使われる大谷石にもミソと呼ばれる虫喰いが入ることがあるが、高池の虫喰岩のように大規模なもの珍しく、まさに自然の記念物と呼ぶにふさわしい」。すなわち、虫喰岩の成因を風食と水食であると見なしている。

一方、虫喰岩や牡丹岩の面白い模様について、古座川文化財、第2号（1985）では約10万年前以降の風化作用によるものであり、その成因について(ア)岩体に含まれる塩類の結晶の具合い、(イ)鉱物の結晶の配列によるもの、(ウ)火山ガスの抜けた通り道との関連、さらに(エ)海食作用（波食作用）や(オ)風食作用などをあげ、まだ定説はないとしている。また、古い時代には海面が今日よりかなり上昇していたので、現在の河川から10～20m位上にあるウツギ石のなかに穿たれた大小さまざまな洞窟のなかに旧石器時代の遺物が発見される可能性が大きいと指摘している。

大阪地域地学研究会（1995）は虫喰岩の成因について、長期にわたる流水や波の侵食によって凝灰岩の中に取り込まれた砂岩や泥岩が侵食されてなくなり、くぼみとなったもので、侵食されたあとにできたくぼみの中に発達する蜂の巣

状の穴は風雨による侵食であろうと説明している。いずれも物理的風化・侵食作用をあげている。

3．タフォニの写真による調査記録・観察の結果と考察

今回はわずか１日という短時間の、虫喰岩のタフォニの確認を主目的においた予察的な調査であった。調査のルートと地点は（**図４**）に示した。

3.1　熊野酸性岩とタフォニ

①　タフォニの発達はウツギ石／熊野酸性岩類（無層理で節理の不明瞭な凝灰岩）の分布地域に一致している。

②　熊野酸性岩のなかに発達する垂直の岩壁、特にその南向き斜面にのみタフォニが生じている。

③　池野山の虫喰岩の場合、水際ではなく、垂直の岩壁面中のいろいろな高さに形成されており、層状構造をなしていない。すなわち、特定の高さを示す事が無く、崖面の下部から崖頂の35m付近まで全面に生じている（**図５**、**写真１の②**、**③**）。

3.2　タフォニの形状とタイプ

①　タフォニの形状とタイプについては下記のように観察した。高度に対応して発達（解体）過程が異なり、上、中部の側面タフォニ（**写真１の②**、**③**、**④**、**⑥**）、下部の基底タフォニ（**写真２の②～⑥**）のほかにタテのフレア状をした溝フルート Flute（**写真１の⑤**）、蜂の巣状風化孔（**写真１の⑥**）、オーバーハング（**写真２の②～④**）などの微地形が共存している。側面タフォニは牡丹岩（**写真８の①～③**）に代表されるように厚い硬化皮殻の内側に球状をなして発達しており、岩壁面中部の凸型斜面の部分では皮殻が連結・崩壊して内壁面が露出してくぼみとなっているものが多い。相対的に上部のものは規模が大きく、保存状態が良い。直径数mから最大級のものは10mを超える。基底タフォニの大部分は硬化皮殻が剥落し、オーバーハングしている。フルートの発達は縦（たて）方

図4　調査地点位置図
Locality Map of Surveying Points

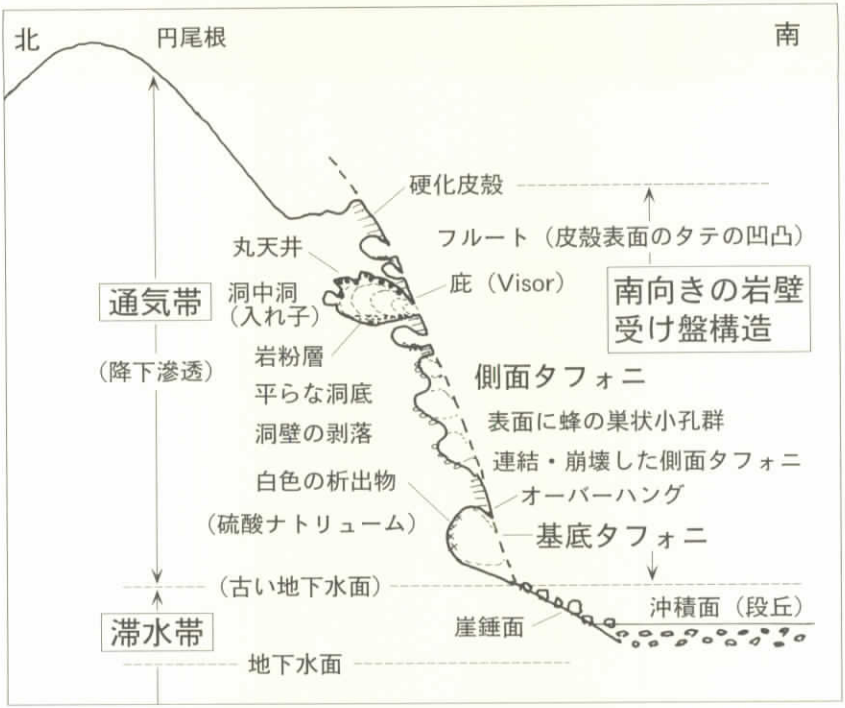


図5　虫喰岩におけるタフォニ化の模式概念図（大橋原図）
Generalized Types of Tafonization in Mushikui-iwa
Developed Along Koza River, Kii Peninsula

向のパターンを示し、岩壁表面ではタフォニと交差関係にあり、後者が若い。

②　岩壁の上部には傾斜の変換部が認められ、それより上方は植生に覆われた定高性をもつ丸尾根（**写真1の①、②**）が発達している。

③　Side Tafoni は厚い（30～50㎝）硬化皮殻で保護され、楕円型の開口部と内部の丸天井をなす球状（袋状）の洞窟を形成している。その洞壁の奥には小さな洞中洞群（**写真4**）が見られ入れ子構造を示す。洞底は一般に平らであり洞壁から剥落した岩粉（**写真4**）が溜まっている。内側の洞壁には白色の析出物（硫酸ナトリュムか）が観察される（**写真4の⑤～⑦**）。

④　岩壁中部の側面タフォニは硬化皮殻が連結したり崩壊しており、破壊され

た内側の洞壁面が露出している。その表面には無数の小さな蜂の巣状の孔が形成されている。孔の大きさは上部ほど大きい傾向がある（**写真⑪**）。崩壊過程の側面タフォニがつくる奇岩はコルシカ島では「おばけ岩」Phantom Tafoni と呼ばれている。

⑤　岩壁は幅10m前後の大きさのブロックに分割されつつある。

⑥　虫喰い状模様は岩壁面のなかを横方向または斜め方向に形成され、開口部は一般に横にしたラグビーボールのような形態をしている。これに対して縦方向の凹凸模様（フルート）がフレア状に刻まれている。その部分は黒い色調をなし、凹部は湿って苔が付着している場合が多い。岩壁の上部によく発達しており、その成因が表面流との関係が密接であると考えられる。

⑦　基底タフォニは岩壁の下部に見られ、地表面から見るとオーバーハングを成しているのが特徴である。

3.3　タフォニの形成機構、形成時代について

①　風化穴は岸壁の中のさまざまな高さに形成されており、特定のレベルに集中していない。硬化皮殻の内側に発達しており、縦方向の模様（フルート）の発達、砂を吹きつけるような強い風の卓越や波食作用との関係をもたないなどの特徴をあわせて考えるならば風食作用や水食（河流や海）との関係はほとんど無視してよい。

②　洞壁の剥離と岩粉の生産が現在も進行中であることは風化洞が今も成長中であることを示し、化石地形 Inactive Tafoni または残留地形 Relict Landform ではないと見なすべきであろう。

③　南向き（日向）斜面にしか見られないことは、岩盤の乾燥と関連性が大きいと予想される。風食と関る砂を含む激しい南風の卓越は南側に東西性の分水嶺が走る本地区では問題とするに値しない。

④　風化洞、孔の規模が上部ほど大きいこと、洞内の析出物、穿孔の深さや角度が垂直な岩壁面に対して水平ではなく上方から下方に傾斜している。ウツギ石全体の構造はやや北落ち傾斜であるが地下水の流下方向は逆となり受け盤型（**写真⑫**）を示す。こうした事実は岩盤中の水分の降下滲透が優勢であること

を示唆しており、外因的な物理的風化作用よりも岩盤内部の化学的風化作用が重要な役割を果たしていると見なす根拠になる。

⑤　風化の著しく進んだ火砕岩は一見して砂岩と見間違えるが、均質で節理も不明瞭である。したがって、岩石内の不均一性などの初生的な組織条件が風化微地形の形成を規定していると単純に判断し難く、波食や風食などの単純な機械的風化（物理的風化）よりも塩類風化が有力視される。すなわち、長石などの造岩鉱物の化学的風化で生じた珪酸 SiO_2 コロイドと水溶性塩類の作用と見なされる（**写真４の④～⑦**）。わずかな地下水が、これらの物質を運んで外側に出ると、二酸化炭素 CO_2 を含む弱酸性の水によって SiO_2 は沈殿して表面を固め、内側では水分が蒸発し、飽和した塩類がその結晶力で表面を破壊し、最初はわずかであった凹凸が次第に増幅されてゆく結果数メートルのタフォニが形成されであろう。

一般に火砕岩にタフォニが多いのは、化学的風化を受けやすい火山ガラスが多く、孔隙の割に透水性が低いので、上記の移動成分の濃度が高まるためと考えられる。

海岸部に見られるタフォニ（**写真５の①～③**）は波食・風食洞と見間違えられる場合が多いが、潮間帯には見られなく、孔や垂直の模様を伴う点などから波食とは無関係であると見なされる。

水に触れて濡れている部分が殻のように固まり、乾燥する部分が塩類の晶出で絶えず崩れ落ちて、孔が積雲のように上と横に際限なく成長する点では蜂の巣構造と区別される。

崩れ落ちた崖に、化学的風化で生じた硫酸ナトリウムなどの水溶液や海水が滲み出て、雨の当たらぬ部分では乾燥して白く結晶し、霜柱が土を持ち上げるのと同じ働き（結晶応力）で、少しずつ岩石を破壊してゆくと考えられる。

３.４　タフォニと人間活動

①　穴居：池野山東方の地蔵峠南の道路わきにある一軒屋（**写真４の①**）。一見して何気なく見過ごしてしまいがちな光景であるが、注意深く観察してみると、正面（南側）だけが普通の家屋の構造を示しているものの、屋家はすっぽ

りと巨大なタフォニを利用する形で岩壁内に収まっている。信じ難いが、まがいもない現代の穴居景観である。

② 遺跡：川辺の朝里家屋敷跡・後南朝遺跡：基底タフォニのオーバーハングと巨大な崩落岩塊が作った空間（岩陰）を利用したものである（**写真6の④、⑤、⑦**）。

③ 宗教：虫喰岩の上部に生じた風化洞窟のなかには薬師如来（聖天）が安置されている。第二次大戦中にはそこに村人が米や衣類を格納したという。河間の小谷盆地を見下ろすその位置は聖（霊）域としての好条件を備えている（**写真6の①**）。

④ なりわい：昔もそうであったというが、現在でも各所で基底タフォニが農機具・農作物の貯蔵・格納所などとして利用されている（**写真2の⑤、⑥**）。

造洞層である「宇津木石」は往時はさかんに採石の対象とされた。

⑤ 観光・町おこしとタフォニ：タフォニは単に学術研究の素材としてだけでなく、優れた地域教材・観光資源とし活用を検討すべきであろう。虫喰岩の前に天然記念物指定を記す小さな石碑が建つのみというのは余りにも寂しい光景である。

熊野酸性岩に発達する巨大な岩壁は熊野地方の特徴的な景観のひとつであり、その多くに岩壁景仰の心意伝統が残存している。とりわけ古座川流域は神の座たりうる巨大な岩壁が集中している。岩壁景仰を村おこしの核とすることは過疎化の著しい古座川町では有望といえる。(1)虫喰岩―(2)河内様―(3)西の倉―(4)ボタン岩―(5)少女峰―(6)飯盛山―(7)天柱岩―(8)一枚岩を回遊するモデルコースの開拓が考えられる。ただし、既往の景観鑑賞、史跡めぐり型の spot 中心の観光開発に過大な期待を抱くことが現実的かどうかは疑問が残る。景観を科学したり、教育、探検・スポーツさらに生涯学習などとも結合した能動的で action がともない、長期滞在とリピーターが定着する新たな観光スタイルの創生が求められよう。

4．結　言

本調査の結果と考察を要約すると下記のようである。

(1)　分布実態：タフォニの分布は特にウツギ石（熊野酸性火砕岩）の分布と一致し、他の岩石の分布地では確認されない。したがって、本地区におけるタフォニの形成はウツギ石の岩石特性に強く影響された、いわゆる Rock control 地形の一種と見なされる。

東西方向で熊野層群のなかに伸びる脈岩／ウツギ石の部分は周囲から突出しており差別侵食の卓越を反映している。その境界部にはしばしば垂直の岩壁が形成されており、南向き崖面にタフォニが集中して生じている。それは崖面の乾燥という条件と密接に関係するものと考えられる。今後、正確な分布調査・実測を行い厳密な検証が必要である。

(2)　ウツギ石のなかに発達する垂直またはオーバーハングの岩壁の成立は受け盤構造とタフォニ化作用、特に基底タフォニの発達が重要な要因をなしている。崖面の崩壊は岩盤斜面基部が風化・侵食による除去変形で劣化・欠損することにより上部岩盤の自重と重力性崩落を誘発した結果であろう。繰り返し発生する崩壊とタフォニの関係は防災上からも注目される。

古座川河谷沿いの集落や道路が北岸の日向斜面の直下にほとんど立地しているという特色を考慮したならば、近未来に予測されている南海地震との関りで、岩盤崩壊の調査は防災上不可欠であろう。

(3)　形態的特質と成因について、写真記録とその解説というかたちで整理したが文献調査、現地調査で観察された国内外のタフォニの微地形的特徴と大きく異なるものではない。

(4)　風化洞の天井や洞壁の剥落が今も進行中であることが観察され、洞底部に岩粉が堆積している個所が確認された。岩粉生産とその季節的変動についての観測が今後重要な課題となろう。

(5)　タフォニの成長速度については確定的な事実を掴むことができなかったが、既往の文献では 1 cm／年（Selbey, 1979）という報告がある。国内の海岸部で

の計測結果（Matsukura et al, 1996）および韓国での観測（池田, 1990）結果などから、本地区に卓越する数cm～数m大のタフォニは数年～数千年、最大級の10m大のタフォニでも10万年前以降に形成されたと推定され、かつ現在も成長中である。最終氷期の低海水準期に下刻された谷壁岩盤の下部が完新世（沖積世または後氷期）の埋積過程－縄紋期以降－に形成期を求めることが出来る。紀伊半島南部という気候学的位置からして凍結破砕の影響はほとんど無視してよいものと考えられる。洞壁の剥離と岩粉生産の計測とその分析とともに海岸段丘・旧汀線および河水面の変動史、火山灰層による層序学的な年代確定等、総合的な検証が必要である。

(6) 洞窟の形成がウツギ石の不均一性に起因するものか否か。薄片作成により造岩鉱物の組成と配列の観察、岩石の組成分析等による検討を要する。受け盤構造の岩壁面に生じている場合がほとんどであるが地質構造が支配要因になるかどうかは明らかでない。むしろ、流理構造や鉱物配列、孔隙率や透水率などの特性を検討することが急がれる。

(7) 風化微地形と岩盤水の関係は緊密であり、岩盤の劣化の要因として温度とともに最も重視される。鍾乳洞の形成機構には通気帯型と滞水層型がある。通気帯とは地下水面より上の領域で、溶出は主として降水が地下水面へと流れる通路に起ると見なす説である。これに対して地下水面より下の領域、すなわち滞水層を重視し、地下水面が流速は最大になるはずであるから洞窟形成はまさにその部分で起る。最も大きい通路で流速が最も大きくなる、そこでの溶出により洞窟が形成され、末端の地下水面の低下する時、洞窟は乾燥状態になる。虫喰岩のタフォニ化は主として通気帯において生じたものと考えられる。

(8) タフォニ風化洞窟と人間活動

タフォニの存在価値は、人間活動との係りの中で決定される。タフォニを単に奇勝という景観論的視点に終始し、局地的特殊現象として説明してはならない。また、タフォニと人間活動との関係は多くの場合が過去形ではなく、意外と現代のくらしに深く関るものである。

風化洞窟が聖域として宗教的に利用されるケースは国内外の多くの事例が示している。

紀伊半島、特に熊野地方の中新世火成岩類が卓越する地区には各地で原始的な岩壁景仰が残存している。熊野市の鬼ケ城、獅子岩、花の窟、ハナシロ岩、文字岩などいずれも南向き岩壁であり、タフォニと予想される風化洞窟や窪みが生じている。

本地区においても池野山の虫喰岩に薬師如来が安置され、河辺の後南朝遺跡（朝里家屋敷跡）は岩陰遺跡をなしている。いずれも遺跡の保全に困難がある。高位の風化洞窟のなかに旧石器遺跡が発見される可能性は小さいものと考えられる。なぜなか、タフォニの形成速度は予想外に速く、後氷期であろうと予測されるからである。

往時はさかんに行われたウツギ石の採石は現在ではほとんど見られなくなった。穴居は古代や過去の歴史時代に行われたであろう。地蔵峠の南の山中にそれが現存しているという事実には驚嘆を禁じえない。極めて希少な景観として注目される。

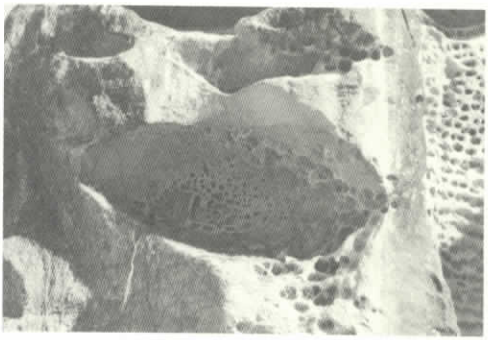
現在も継続しているタフォニ化作用が岸壁の成長や崩壊と緊密な関係を有しており、災害発生や防災と無縁ではないという事実は今後も看過できまい。

タフォニは貴重な学術研究の対象として、また地域教育・教材として注目されるべきものであり、町の観光（景観）資源として周囲の景観とともに積極的に創生開発・保全を図る必要があろう。記念石碑が建つているだけという現状からの脱皮にむけての工夫が要るものと考えられる。近畿地方には豊岡市の玄武洞のように、景観創生により観光開発に成功した好事例がある。

①西側から見た虫喰岩。受け盤型岩壁である。

②虫喰岩の全景。南側から写す。岩盤の比高は約35m。中央上部の風化洞窟の中に薬師如来が祀られている。

③側面タフォニ、直径1m～10数m、深さ数mと規模はさまざまである。



④側面タフォニの拡大。

⑤タテの模様を示すフルート

⑥皮殻が崩壊し、側面タフォニの内側が露出したもの。その凹面に無数の蜂巣状風化孔が発達している。

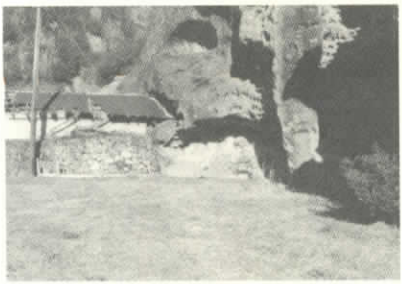
写真１：池野山の虫喰岩（天然記念物）

①硬化皮殻の表面と発達初期のタフォニ

②皮殻と基底タフォニ

③厚さ30～50㎝の硬化皮殻

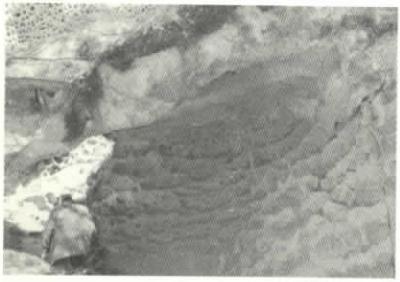
④オーバーハング



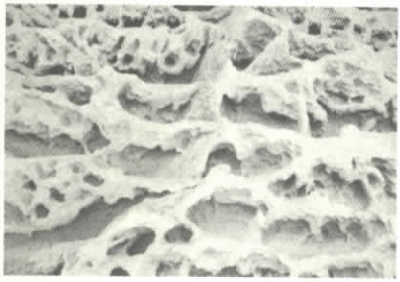
⑤基底タフォニが農具格納庫として利用されている。

⑥ハザギの収納所として活用されている例

写真２：硬化皮殻と基底タフォニ



①

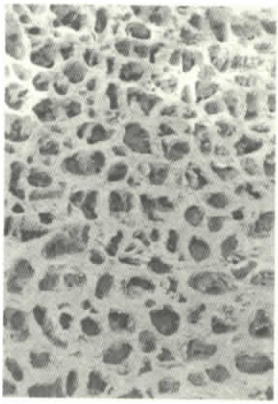


②

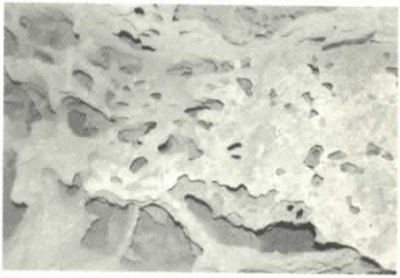
③

④

⑤皮殻の内側の風化



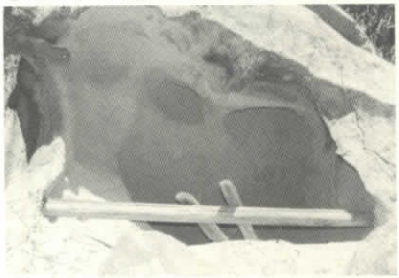
⑥



⑦

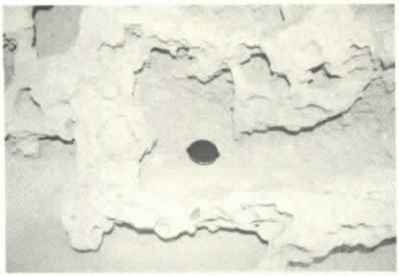
写真３：タフォニの内壁の風化状況―層状および格子状構造―

①地蔵峠の穴居



③入れ子（洞中洞）構造

⑥洞壁表面の白色析出物



⑦同上

②連結タフォニ

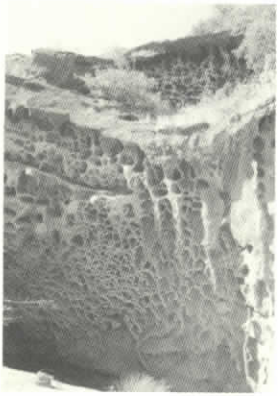
④天井の剥落と岩粉生産

⑤洞底の岩粉堆積物

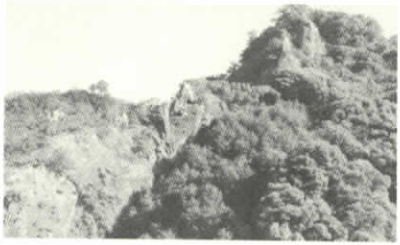
写真４：穴居①と活（成長）タフォニ②～⑤

①斜面に平行して発達する風化帯

②凸型斜面と風化帯



③凹型斜面と風化帯



④少女峰

⑤佐部地区の山腹のタフォニ

⑥相瀬地区の岩壁とタフォニ

写真５：浦神海岸のタフォニ①～③と古座川本流沿いの内陸のタフォニ④～⑥

①集落背後にそびえ立つ岩壁とタフォニ

②平担な洞底

③皮殻が崩壊し露出したタフォニの内壁

④崩落した巨大なスラブ（岩塊）

⑥崖下ではしばしば崩壊被害が発生する

⑤河辺の岩陰遺跡

写真６：河辺の集落背後に迫る岩壁タフォニとその崩壊、岩陰遺跡

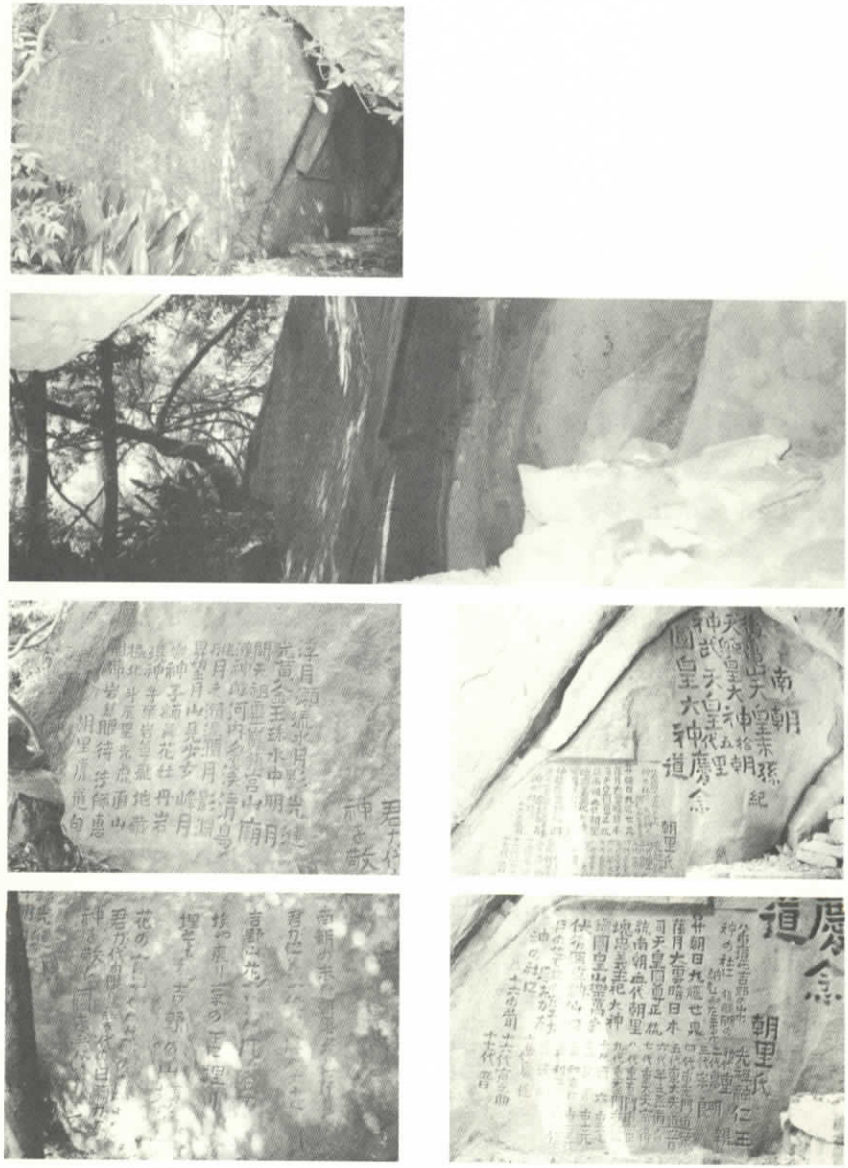
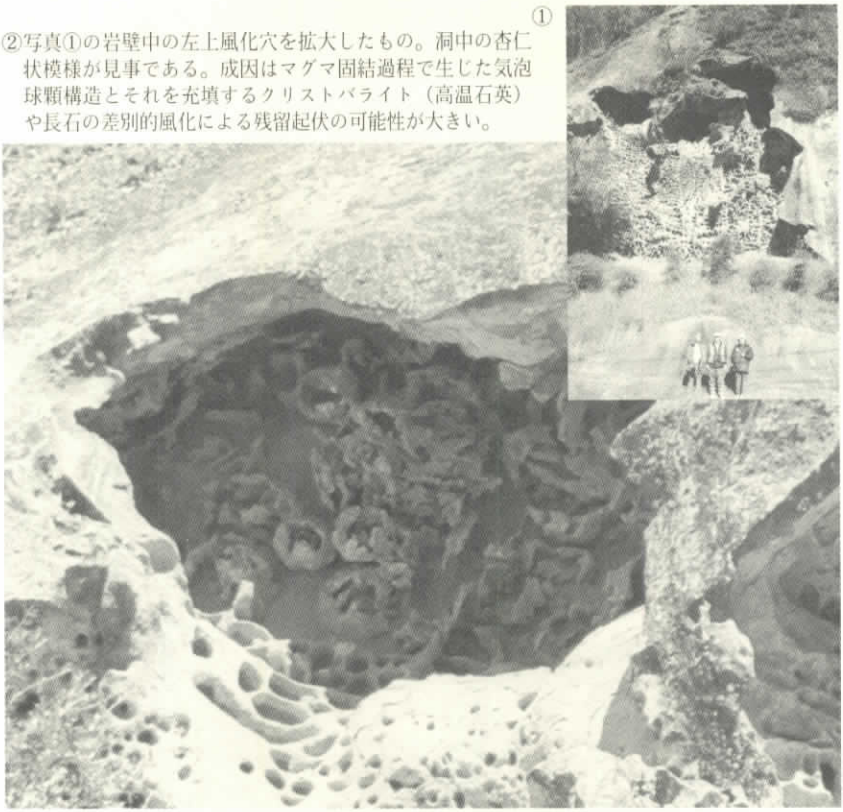


写真７：月野瀬河辺屋敷跡（後南朝遺跡）

朝里家の祭壇と15代慶道が約10年を費やして刻んだ石碑がある。

①

②写真①の岩壁中の左上風化穴を拡大したもの。洞中の杏仁状模様が見事である。成因はマグマ固結過程で生じた気泡球顆構造とそれを充填するクリストバライト（高温石英）や長石の差別的風化による残留起伏の可能性が大きい。



③崩壊したSide tafoniの表面に生じた蜂巣状小穿孔群

④「一枚岩」（天然記念物）古座川左岸に比高約150m幅800mの巨大な岩壁。層理や節理がほとんど認められない

写真８：牡丹岩（ぼたんいわ）（月野瀬）と一枚岩（相瀬）

謝　辞

現地調査に際して、地元古座川町教育委員会の山崎紀彦教育長、町史編纂室長の後地勝氏には有益なご教示と貴重な未公開資料の提供を受けた。在仲能理子さんには現地案内等にご協力をいただいた。記して深謝の意を表します。

なお、本調査は大阪経済法科大学2002年度特別共同研究助成金の一部を使用した。

参 考 文 献

1）町田貞他編（1982）『地形学辞典』二宮書店、p.364、p.493

2）中沢圭二他編（1987）『日本の地質6、近畿地方』、共立出版社、pp.128－131

3）米倉伸之（1968）「紀伊半島南部の海岸段丘と地殻変動」、地質学雑誌77－1、pp.1～23

4）池田　碩（1998）『花崗岩地形の世界』、古今書院

（1989）「地中海コルシカ島の花崗岩地形」、奈良大学紀要17号

（1990）「韓国北東部海岸注文律付近にみられるTafoni地形とその形成過程」、奈良大学紀要18、pp.49～53

（2000）「高知県西南部太平洋にのぞむ蒲葵島・幸島の花崗岩タフォニ」、奈良大学紀要28号

（2001）「韓国の花崗岩地域にみるTafoni・Gnamaの分布」、奈良大学総合科学研究所所報第9号、pp.75－87

5）Yukinori Matuoka and Norikazu Matuoka（1991）「Rate of Tafoni Weathering on Uplifted Shore Platforms in Nojima-Zaki, Boso Peninsula」, Japan, Earth Surface Process and Landforms, vol. 16, pp.51～56

Y. MATSUKURA and N. MATSUOKA（1996）「The effect of rock

properties on rate of tafoni growth in coastal environments」, Z. Geomorpho. N. F. Suppl, Bd, 106 pp.57－72

Yukiya TANAKA and Yukinori MATSUKURA (2001)「Some Characteristics of Korean Granite And Gneiss Landform」, Transactions, Japanese Geomorphological Union 23－3, pp. 361－379,

6）宇留野勝敏（1987）「雲形侵食について（その２）」、第93回日本地質学会（山形）演旨

（1996）「微地形「雲形侵食」について」、『多賀城市史』p. 3所収

（1979）「雲形侵食（新称）について」、第86回日本地質学会（清水）講演要旨

（1982）「雲形侵食－その後、宮城高校地学部部会報」、pp.10～12

（1982）「雲形侵食を調べよう」、『自然を調べるシリーズ２、水と地形』P.43、地学団体研究会編東海大学出版会

7）M. J. Selby（1979）『Hillslope Material and Processes』, Chap. 9. pp.157～161

8）J. Tricart（1977）『Precis de Geomorphologiqe en Couse』

9）H. Wilhelmy（1958）『Klimamorphologie der Massengesteine』Westermann

10）A. Rondeau（1961）『Roches Geomorphologique en CORSE』

11）C. R. Twidale, C. R（1982）『Granite Landforms, Elsevier』

12）横田修一郎（2002）「島根県太田市忍原峡のタフォニとオーバーハング斜面」、第５回岩石の風化に関するシンポジウム、京都大学

13）西山賢一・千根雅弘（2002）「熊本県天草上島に分布する白獄砂岩の風化と崩壊」、第５回岩石の風化に関するシンポジウム、京都大学

14）大橋　健「四国山地の風化洞窟－岩屋寺のタフォニ」（未公表）

「北陸の風化洞窟－那谷寺のタフォニ」（未公表）

「韓国、済州島南西部海岸の洞窟－山房窟寺のタフォニ」（未公表）

（2001）「洞窟の自然と人間－兵庫県豊岡市北部、玄武洞を事例とした観光洞の成立過程－」、大阪経済法科大学論集第82号、pp. 41～65

15）株式会社クボタ（1999）『URBAN KU1BOTA』38　特集＝紀伊半島の地質と温泉　付図＝紀伊半島四万十帯の地質図（1：25,000）、pp.56

16）古座川町町史編纂室、後南朝遺跡、朝里家屋敷跡関連資料（未公表）

17）小口高（1996）「気候と地形、地理・地図資料5」、pp.10～11、帝国書院

18）金周換・張載勲（1978）「韓国の花崗岩に発達するSalt Weathering現象に関する気候地形学的研究」、地理学研究4、pp.29～53

19）品田　穣（1995）「加藤陸奥雄他監修、『日本の天然記念物』講談社」、p.86

20）古座川町教育委員会（1985）「古座川町の地質」、『古座川文化財』第2号、p.9

21）野本寛一（1990）『熊野山海民俗孝』人文書院、pp.217～276

22）大阪地域地学研究会（1995）『地学の旅』、p.151、東方出版