

# 韓国東北部海岸注文津付近にみられる Tafoni地形とその形成過程

池 田 碩\*

## Tafoni Topography and Its Development Process As Seen In the Jhumonjin Area of the Northeastern Coastal Korean Peninsula

Hiroshi IKEDA

### I. はじめに

韓国は、隣国にあり、緯度からみても日本とほぼ同位置に当る。しかし、地質や地形は、日本列島がアジア大陸を縁どる変動帯で、地殻変動が激しく進行している地域であるのに対し、韓国は大陸地殻の一部をなし、安定陸塊であるため、地盤の動きもきわめて少ない。

一方、気候的には、日本が太平洋と日本海に挟まれた湿潤な地域であるのに対し、韓国は大陸的であり、特に冬季のモンスーン期には厳しい寒冷乾燥気候状況となる。

このように、日本と韓国は近い位置にありながら自然環境は大変異っている。この差は海面が低下していた氷河期においてはなお一層大きかったものと考えられている。従って気候および気候変化は、自然環境のうち地表に作用する諸営力を大きく規定するため、地形にも大きな影響をおよぼしていたと推定される。

次に、韓国の地質は国土面積の半分以上を花崗岩や花崗片麻岩、花崗閃緑岩などの花崗岩質岩石が占めている。また地形は地殻の安定した地域に発達する準平原やペディメント型斜面、

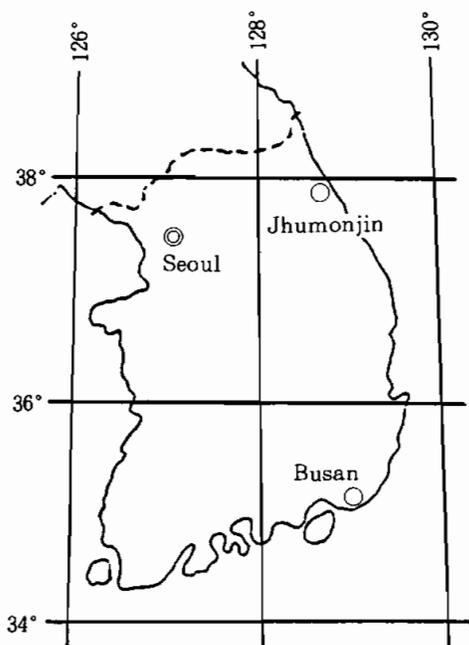


Fig-1 The Location of Jhumonjin, Republic of Korea  
図 - 1 調査地注文津の位置

\* 地理学研究室 (平成元年 9 月 30 日 受理)

侵食盆地が各地で見られるのが特徴である。

さらに、花崗岩地域では植被が自然的あるいは人為的理由で破壊されると、回復しにくいばかりか、侵食が著しく進むため禿山・裸山地が広がり、バッドランド地形が形成される。韓国の山地は、日本の花崗岩山地よりはるかに植生が少なく、このため花崗岩を特徴づける山地小地形・微地形など小規模な組織地形がよく現われている。

以上のように、日本とはかなり異った自然環境下であり、かつ花崗岩地域が広大な分布をなす韓国は、花崗岩地域を中心とした組織地形を気候環境と関連させつつ研究してきた筆者にとって大変興味深い隣国である。

本報告では、韓国の花崗岩地域にみられる風化穴・風化洞穴 Tafoni をとりあげる。

しかも、Tafoni が現在の気候環境下で活発に形成されている東北海岸の注文津 (Jhumonjin) 地区で、その形成過程や形成速度を把握するためにおこなった実験および観察の結果について報告する。

## II. 韓国の Tafoni 研究の現状と問題点

### A) 韓国の花崗岩 (類) 地域の地形の特徴

韓国に広く分布する花崗岩地域は、ペディメント Pediment や侵食盆地、推積物の薄い構造平野、準平原などの地形から構成されている。また、山頂部や斜面上には、ドーム Dome やトア Tor などの小起伏地形 (小規模な組織地形) が発達している。

さらには、斜面侵食によって地表に露出した綿袋状の大～小の岩塊 Rock Block・岩塊群や氷河期の寒冷な気候環境下で形成され移動した岩塊流 Fersenmer・Block Stream 等が各地に存在している。<sup>1)2)3)</sup>さらにこのような花崗岩からなるドーム・トア等の凸岩部や大岩塊等の表面上部にはグナマ Gnamma、壁部や底部にはタフォニ Tafoni とよばれる特徴的な窪みが形成されている。

ところで、Gnamma や Tafoni は、岩盤や岩塊の表面にみられる特異な窪地であり起伏は造らないので、ここでは微地形としておくことにする。注目されることは、これらの微地形は地球上の花崗岩地域全域に形成されているわけではなく、ある限られた自然環境のもとに形成されていることである。<sup>7)8)9)</sup>

また、現在みられる地形の形成には過去の気候、特に氷期の気候が強く影響している。このため、Gnamma や Tafoni も現在の気候環境下で形成中のものか、過去の気候下で形成されたもので、現在は化石化している微地形なのかを見きわめねばならない。

そこで、Tafoni についてももう少し説明しておこう。

Tafoni とは、Corsica 島で穴だらけという意の Tafonare を語源とされるように、地中海性気候地域に多い。<sup>10)11)</sup>しかしその分布は乾燥と湿潤を短時間 (1日のうちに) くり返すような気候であれば熱帯のサバンナでも、南極のような寒冷な地域でも出現する。なおその形成位置からは、岩盤の側面に形成される Side Tafoni と底面に形成される Basal Tafoni とに大きく分けられている。<sup>12)</sup>

### B) Tafoni 研究の現状と Tafoni の特徴

韓国には、海岸部・内陸部を問わず、広範な地域にわたって Tafoni が形成されている。しかし、これらは特異な形成を示す奇景の1つとして知られていたにすぎず、それ自体が地形を形成する主な要素ではないため、最近まで研究の対称とはされてこなかった。

ところが、1960年代ごろから韓国では気候地形学的視点から国土の地形を検討する傾向が盛んになり、1970年代に入って Tafoni や Gnamma も地形形成の環境を示すものと

して研究の対称となってきた。<sup>13)14)</sup> 韓国におけるそれらの分布地域と分類をはじめて概念的にまとめたのが、金周煥・張載勲(1978)の論文である。<sup>15)</sup> しかし、その調査地域は東部海岸と内陸のソウル周辺を中心とした報告であった。

その後、張昊(1983)は、韓国西南部を中心に前論文を補う地域で報告を行なった。<sup>16)</sup> 両論文共、精力的な現地調査にもとづく研究であり、この種の微地形の特徴と分布を示す大変貴重な報告である。しかし両者の研究視点や成因論は若干異なり、また筆者の考えとも若干相違している。

つまり、全・張論文は、全ての分布地域を含めて成因を Salt weathering に帰し、それを論題にまでしているが、筆者は韓国の場合、海岸からかなりの距離や高度を有する地域、さらにはソウル周辺のような内陸部に存在する Tafoni にまで Salt weathering を主張する必要は現在も過去もないと考える。もし塩分は鉱物結晶からも折出すとすれば、Tafoni のような特殊な微地形が特定の地域にのみ集中して存在するのではなく、全ての花崗岩地域に出現してよいだろう。

張昊の論文の場合は、Tafoni に Gnamma を含めて、風化穴としまとめているが、それぞれの形成位置や成因はまったく異なっており、一括して論じると、やや混同される心配がある。

また、同時期には Tafoni 形成地域での具体的な事例研究もおこなわれている。金恵子(1981<sup>17)</sup>・1984<sup>18)</sup>)はソウル周辺に見られる Tafoni について研究しており、筆者等(1981<sup>19)</sup>)と成考鉉(1982<sup>20)</sup>)、金大經(1983<sup>21)</sup>)は西南部で内陸の馬耳山(650m)に発達する Tafoni について調査報告している。さらに秋美羊(1983<sup>22)</sup>)は、西北部で内陸の徳崇山(495m)に位置する典型的な花崗岩 Tafoni 地域について調査した。これらのうち金恵子は内陸にみられる化石 Tafoni について古気候との関係を論じた。秋美美は成因を Basal Tafoni とし、この地の Tafoni の形成は地中風化からとしている。しかしこれに対し、筆者等は、Tafoni の成因を過去の気候とともに現在の微気象に求めようとした。

### C) Tafoni 研究の問題点と本研究の意義

これまでの研究を概観すると、新たにいくつかの問題が指摘できる。そこで、筆者はまず韓国の Tafoni 研究に関する問題点を以下のように整理してみた。

- イ) 各地区の Tafoni について、現在形成中なのか、化石なのかをみきわめること。
- ロ) 海岸付近に位置する Tafoni の場合は、波しぶきを直接受けているか、それにかかわりなく形成されているのかをみきわめること。
- ハ) Tafoni の成因は、塩風化か、それとも塩風化とは無関係に形成されているか。
- ニ) 現在生長中の Tafoni について、その速度や形成過程を明らかにする必要がある。

以上の問題に対し、筆者の研究方法を記しておく。イ) に対しては、まずは Tafoni 穴内の状態を覗き、穴内が苔でおおわれていたり、風化変色したりはしていないかを観察する。つぎに、新鮮であれば穴の底部に Rock meal がたまっていないか、もしたまっておればそれが落下したと思われる天井部を観察、両者共新鮮であれば、その Tafoni は、現在生長中であり、形成の過程と速度を推測してみる。

一方、化石状態であると判断した Tafoni の場合は、現状を観察しつつ、いつごろ、どのような気候環境下で形成されたものかについて推測してみる。

ロ) に対して、韓国には海岸地域にも内陸地域にも典型的な Tafoni が形成されている。このうち、今報告にかかわる海岸の Tafoni については、筆者の観察によると次のような例がある。

- ①. 波やしぶきを受ける場所や高さに位置したものでノッチ notch に類するもの。
- ②. 波やしぶきを受けないが Tafoni 穴が海を向いており、潮風の影響を強く受ける状態にあるもの。
- ③. 上記②とほぼ同位置、同高度に位置していながら Tafoni 穴は海を背にしているもの。
- ④. 海岸から数100m離れていたり、高さも数100mと高い位置に形成されているもの。等に分けられる。

このように、海岸部だけでも Tafoni が形成される場所や条件は多様であり、Tafoni の形成環境や成因を単純に規定することには問題が多い。

たとえば、①の場合、波やしぶきを受ける海岸なら、どこにでも形成されよう。日本でも花崗岩地域の場合は瀬戸内海に臨む岡山県南部の六口島の象岩がその好例であり、安山岩地域では長崎県西海国立公園九十九島の海岸一帯にも良く発達している。

②の場合、たとえば本論文の実験地の Tafoni は、海面から10mの高さ、汀線から20mの位置にあり、ストームの場合にはしぶきが入るとしても穴の奥や天井部には直接当たらないところに形成されている。それでもしぶきに伴う粉末化した霧は流入するだろう。③のように、本論文の実験地と同位置にありながら、海を背にし、陸側向きに形成されているもの。さらに、④の場合は海岸付近というだけで海の影響からは離れて位置しているものについてその成因をどう考えたらよいのだろうか。

以上から①の場合を除き Tafoni の形成因子としては、海風や上昇気流によってもたらされる湿気があげられよう。この場合、常に湿度が高い地域ではなく、むしろ乾・湿の繰返しの顕著な気候が物理的風化作用を進めるのに都合のよい地域、特にそれが昼・夜でくり返され、しかも凍結・融解をくり返す0℃前後の気温が年間を通じて長く続く地域が好条件といえよう。内陸部での Tafoni の形成については、今回はふれないが、内陸の各 Tafoni 分布地の観察で、特に Side Tafoni の分布が目立つ地域は、やはり上昇気流の発生しやすい地域と植生が少なく乾・湿をくり返しやすい岩盤の表面や崖面に形成されていることを確認している。

ハ) については、韓国の研究では Tafoni の成因を塩風化に帰する傾向が強い。しかし、筆者はU・S・Aや Corsica 島での典型的な Tafoni の観察結果から、これには疑問をもってきた。<sup>23)24)</sup>

海岸に位置するものには、確かに塩分を含む気流が岩面に付着後、乾燥(凍結)による塩の結晶化に伴う時の体積膨張が、剥離風化に対し相乗効果の役を有していることは当然のことである。しかし内陸の Tafoni の成因を同列に考えることはできない。

ニ) の現在生長中の Tafoni に対しては、その形成過程と生長の速度を求めねばならない。今回の研究では、金周煥・張載勲によって報告された地域の1つでもあり、筆者も各地で調査したうち、現在 Tafoni を形成させており、しかも最も活発に生長中と推定した東北海岸の注文津北方の Tafoni 分布地域をとりあげた。そして、より定量的なデータを得て、この種の研究をもう一段階レベルアップさせるために1つの実験をおこなった。

まだ観測をはじめて3ケ年にすぎないが、Tafoni 穴内部での剥離の進む部分とその速度に関する一定の傾向が明瞭に観察されたので、まず現段階での状況を報告しておくことにした次第である。

### Ⅲ. 注文津での実験と Tafoni の形成過程

#### A) 実験地の地形・気候環境

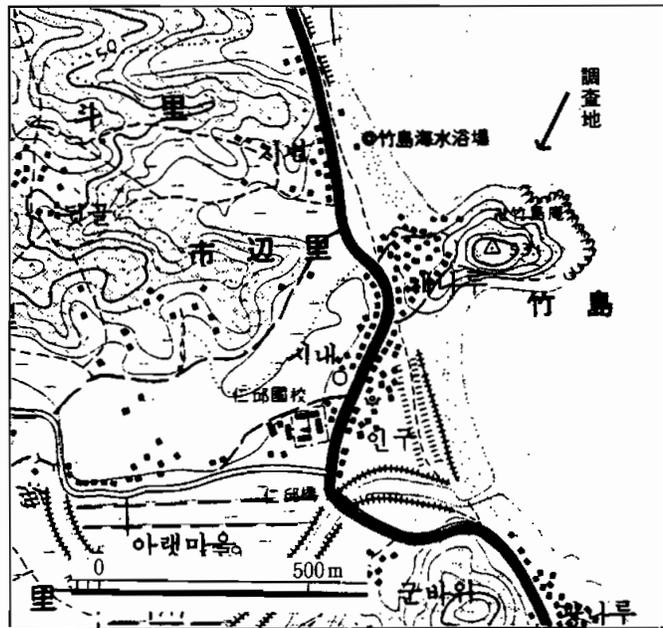


Fig-2 Topography of the Study Area  
 図 - 2 調査地竹島庵付近の地形

今回の実験地は、韓国東北部注文津の北約4km(北緯 $37^{\circ}58'$ 、東経 $128^{\circ}46'$ )で、日本海に臨む小規模なトンボロ先端の、北側の海岸に位置している。

竹島と称されるトンボロ先端の島状部は、東西400m、南北250mにすぎず、高さは53.1mである。

海岸部には海拔10m位に幅の狭い海岸段丘状の海食平坦面があり、そのわずかな平坦地を利用して、小さな道路と仏教寺院の竹島庵が建てられている。

集落は、トンボロの砂丘上に広がっている。住民は主として漁業に従事しており、近年はウェットスーツを着けた潜水漁も盛んなようである。

竹島の北部海岸一帯は、海食を受けて裸岩と大きな岩塊群に取りまかれている状態で、Tafoniはこの付近の岩塊や岩盤に形成されている。トンボロの陸側の延長には、砂浜海岸が続いており、北側の部分は海水浴場ともなっている。

Tafoniが形成されている竹島付近の地質は、ジュラ紀の粗粒黒雲母花崗岩であり、ところどころに12~20mm大の正長石結晶を斑状にもち、さらに輝石・角閃石の結晶粒も点在させているのが特徴である。節理間隔は粗く、割れ方からも大割れ地域といってよい。

次に、Tafoniの形成にとって気候・気象は大変重要である。しかし国情を異にする遠隔地であり、当初考えていた微気象の長期観測はできなかった。

このため、気象データとしては、調査地の北30kmの海岸の街「束草(Sogcho)市」にある気象台の観測所で測定された過去5ヶ年間の記録を使用した。

このデータによると、夏と冬の温度差がきわめて大きく、特に冬の寒冷が厳しいことがわかる。0℃を割る月が3~4ヶ月続き1年の3分の1に達している。これに対し、降水量は、7月から9月にかけての3ヶ月間で1年の半分以上、6月から10月にかけての5ヶ月間では1年の75%降っており、梅雨が無いため雨季が短かく乾季の長いことがわか

Table-1 Climate data of near JhumonJin  
表 - 1 注文津付近(束草市)の気象表(1984-1988の平均)

観測 月	気 温			極 最低 温度	平均 露点 温度	平均 湿度	平均 風速	降 水 量	日 照 時 間
	平均	最高	最低						
1 月	-1.3	3.0	-5.0	-8.9	-12.3	45.4	4.1	19.4	212.9
2 月	-0.2	3.7	-3.6	-7.6	-9.9	51.8	3.8	48.7	187.6
3 月	4.1	7.7	0.6	-3.2	-4.1	59.0	3.3	35.9	211.2
4 月	10.6	14.8	6.7	3.0	2.0	60.8	3.4	54.2	230.6
5 月	15.9	19.9	11.9	8.5	9.2	67.6	3.0	79.9	251.2
6 月	19.0	21.9	16.3	14.1	15.1	79.6	2.5	92.2	168.9
7 月	22.3	25.2	20.0	18.1	19.0	82.6	2.3	188.1	144.2
8 月	23.9	26.8	21.5	19.6	20.7	81.4	2.4	321.6	146.7
9 月	19.4	22.6	16.3	13.6	14.9	77.0	2.5	276.8	174.5
10 月	14.8	18.7	10.8	6.8	7.3	63.8	3.1	102.5	190.2
11 月	8.2	12.2	4.4	0.06	-1.6	53.4	3.5	58.7	181.3
12 月	2.7	6.7	-1.1	-5.4	-8.1	47.8	3.8	26.7	188.1
年 間								1304.7	2287.4

大韓民国中央気象台

る。しかも乾(秋・冬・春)季といえど海風によって湿度がもたらされ、かつ気温0℃以下になる月が長いことから推測すると、この地域は岩石の剥離 exfoliation を主とした物理的な風化作用が卓越する好条件をそなえているものと考えらる。

#### B) 実験の目的と方法

筆者が全周煥・張載勲の論文を読み、この地を最初に訪問し典型的な Tafoni の存在地であると確認したのは1982年の春であった。しかも Tafoni の穴には新鮮な Rock meal がたまっていたことから、現在形成中だということはすぐに判断できたが、論文には定量的な観測値はなかった。しかも、その後の各地での研究報告も同様であった。

このため、これらの Tafoni は現在どの位の速さで、どの部分を中心に剥離し、拡大が進んでいるのか、またどのような形成過程をたどっているのかを知るためには、実験が必要であると考えた。その際、かつて筆者がバッドランド Badlands 地域として著名な滋賀県の田上山地で、花崗岩の裸地斜面の侵食速度を知るために行なった着色テストの経験を思い出した。この地の Tafoni でも Rock meal のたまっている状況からすれば着色後10年間位観測を続ければ、Tafoni ホールの生長速度、さらには形成過程を推定することは可能ではないかと考えた。

そこで、1986年5月に改めて調査を行なった。現地には多数の Tafoni があるものの、着色実験となると、好例だからといって、みだりに行なうことは許されない。あまり目立つ着色はさけねばならないし、研究のためとはいえ、景観をみだしたり、住民に誤解をまねいてはいけない。

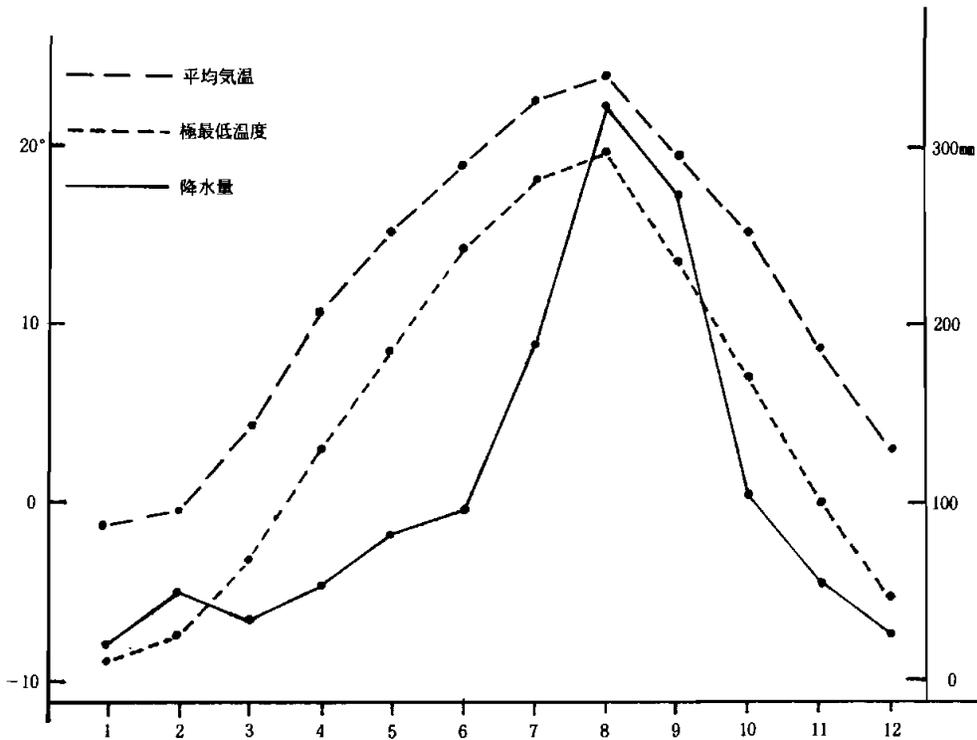


Fig-3 Climate Near Jhumonjin

図 - 3 注文津付近の気象グラフ (データは東草)

そこで着色テストは、1個の Tafoni ホールに限ることにし、さらに着色はホールの内側だけにすることにした。

以上のような点に注意を払いつつ厳選した結果、地形図および写真ページに示すように竹島庵の近くでほぼ上記の条件にかなう、やや小さいが見事な Tafoni ホールを選定できた。海面から約10mの高さで、汀線からは20m程の位置にあり、海を向いているが、下向きで海からも目立たないホールである。

ホールの規模は、写真(A)で示すようにホールの周囲の変化が著しいために計測しにくい。直径は約80cm、高さ約70cm、奥行約60cmで天井の奥は外側の上部よりさらに約20cm高く円形に盛り上っている。Tafoni ホール内側の着色には、田上山地で行なった実験の場合と同様に、粘着力の弱いスプレー式のラッカーを使用することにした。まずホール内全体を赤色ラッカーでぬり、その上から同様に黄色のラッカーをぬるという2段ぬりとした。それは少しでも目立つのをおさえるためと、2段ぬりにしておき、脱色していく過程をもつかめたらと考えたからであった。

### C) 実験の結果

着色は1986年5月に行なった。着色後の観測は遠地でもあり、1年間隔位で行なうことにした。

第1回目の観測は、変化の傾向が若干はつかめるようになってからの方がよいと考え、

少し延ばして1年半後の1987年11月に行なった。ところが想象以上に変化しており驚いた。

そこで、第2回目の観測は逆に早めて半年後の1988年5月に行なった。

その後は、最初予定したように1年毎に観測することにし、第3回目は1989年5月に訪問した。以下3回の観測年時の状況について記す。

Table-2 Site Survey : Color Application and Observation Dates  
表 - 2 現地調査・着色および観測日

初 訪 問	1982年5月1日			
着 色	1986年5月24日	} 1年6ヶ月 } 6ヶ月 } 1年	} 2年	} 3年
第1回観測	1987年11月23日			
第2回観測	1988年5月29日			
第3回観測	1989年5月26日			

#### 第1回目の観測時（着色から18ヶ月後の1987年11月23日）の状況

すでに、ホール内各所で着色部の脱色や変色が進み剥離跡も見られる。ホールの底部には着色した Rock meal がたまっており、変化の速さに驚き、第1回目の観測を半年おくらしたことを反省する。

特に中央部の奥の部分では、脱色とともにうすい剥離（厚さ0.5～1mm）が面的に広がりだしておりホール内左側の直径35cmの副次的なホールにかけては、脱色と共に米粒状の剥離が生じだしている。

右側下部の直径15cm位の小さい副次的なホールでも、わずかながらその上方部にゴマ塩状～米粒状に鉱物粒子が落下した跡が見える。

ホール内へ頭を入れて天井部をのぞいてみると、すでに直径30cm位が厚さ1～2mm程度で剥離していた。

ホールの底や、さらにホールの外側下部の足もとには着色している Rock meal が落下してたまったり散在しており、それらの一部は採集して持ち帰った。

なお、落下している Rock meal の中には厚さ1～2mmで、5×7mmの大きさの塊状のものもあり、鉱物粒が分離し粉状になって落下してきているもの他、天井付近の剥離跡の状況からも早い部分は面的にまとまって剥離落下していることもわかった。

#### 第2回目の観測時（着色から2年後の1988年5月29日）の状況

前回の観測が、着色から1年半後であったため変化が目立ち驚いたが、今回は逆に早めたため前回観測時のような顕著な変化はなかった。しかし、Tafoni ホールの底や外側の足元には、前回観測時同様着色した新鮮な Rock meal が落下していた。それらの中には厚さ2～5mmで1.6×2.0cmと前回観測時より大きなものがあり、全体として剥離はかなり進んでいることがわかる。

今回の変化は、中央奥部の剥離がやや拡大したこと、下方部や左方の副次的穴の部分では脱色が進み全体に赤味が濃くなってきたことである。しかし最も大きな変化は外側からは見えないが、やはり天井部の剥離部の拡大である。この部分の計測はむづかしいので、カメラにフラッシュを付けて撮影し、今後この部分が拡大していく状況を写真でとらえ比較できるようにしておくことにした。

### 第3回目の観測時（着色から3年後の1989年5月26日）の状況

全体として、脱色、剥離ともかなり進んできた。その場所や進み方は前2回の観測時と同じ傾向を示すが、やはり天井部の剥離部の広がり方が最も早い。すでに $27 \times 35 \text{ cm}$ の範囲が落下してしまったところもあり、その周辺では厚さ $2 \sim 5 \text{ mm}$ ×奥行き $20 \sim 30 \text{ mm}$ 位が剥がれてめくれ下りかけている。この様子からみるとラッカーの2度ぬりが、鉱物粒子間を若干は粘着させていることもわかった。

すでに天井部の約4割が着色部を剥離落下させており、ホールの外からもその下方への延長部の一部が見える状態にまでなってきた。

ホールの中央奥部から、左側の副次穴の部分は一層脱色が進み、ゴマ塩状・米粒状の剥離も増してきた。

右側下部の副次穴部では脱色はあまり進んでいないがその上部では米粒状の剥離が増えている。

つまり、Tafoni ホール全体としては3年間で約2割位が剥離・脱色した。

しかし、ホール内での脱色および剥離の進み方と速さには、位置による違いがあることがはっきりした。

今回の観測の結果から最も剥離の速い天井部では $1 \text{ mm}$  / 年程度の速度で進んでいるものと推定される。この速度が継続すると仮定すると、最も速いところでは $1 \text{ m}$  / 1000年の割合でホールの拡大が進んでいることになる。ただし、ホールの形成には初期ほど長時間を要し、ホールの拡大とともに剥離は加速化するものと考えられる。さらに今回実験したTafoni ホールは、現在最も速く生長拡大させつつある状況のものとする。

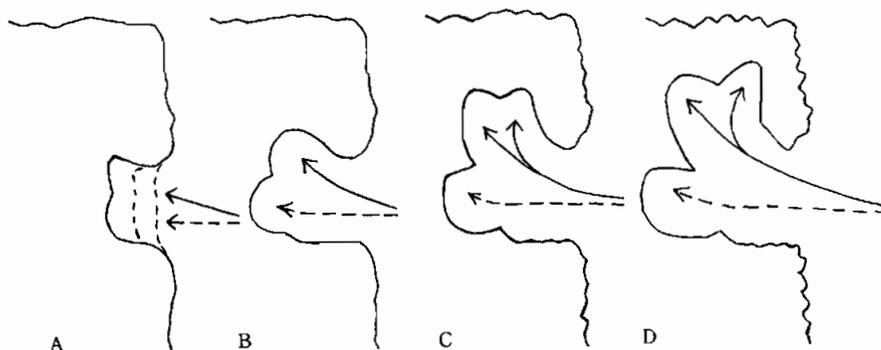


Fig-4 Formation of Tafoni Model Diagram (by H.I.Keda)  
 図-4 タフォニの形成過程模式図(池田碩図)

以上の観測結果から、注文津付近のTafoni群は、 $10^3$ 年オーダー、すなわち完新世中においても十分形成されることが推定できた。

なお、ホール内の変化の様子を風化の内容からみた場合、全体としては、ホール・洞穴内での日陰風化であるが、剥離風化の成因を考えると一種の風蝕ともいえる。

そして、天井部を中心とする速い剥離は、物理的風化作用によるものであり、秋から冬季さらには春にかけて著しく進むと考えられる。一方、下方を中心とする脱色や変色は、化学的風化が中心であり、夏季を中心に進行していることもわかった。

以上のような現象をふまえ、最後に Tafoni の形成、すなわち風化洞穴の拡大は図-4 で示すような過程をたどっているものと推測した。

## VI. 調査地および実験中の写真の解説

写真ページA・B・C・D共、今回報告した Tafoni 地形の実験地でまとめた。このうちA・B・Cは着色実験した海を向く Tafoni であり、Dは海を背にした Tafoni である。

### A : Tafoni 地形の実験地

A-1は、写真Dページに示す Tafoni 地点から、実験 Tafoni (↓印)の周辺を望む。

A-2は、海面近くからながめた着色ホルルの位置。

A-1・2で見られるように、外側からも目立たない位置の Tafoni を選んでいる。

A-3・4は、着色ホルルと着色後のホルル内の変化を示す。

A-3、メジヤの1辺は20cm、着色から1年後の状況、すでにホルル奥部の剥離が進んでいる。

A-4、着色から3年後の状況、ホルル奥部の剥離の拡大とともに天井部からの剥離が下方へと拡大してきている様子がわかる。

### B : Tafoni ホール内の剥離と脱色の状況

B-5は、Tafoni ホール内左側の部分を示す(着色から3年後の状況)。

写真上方は内部の天井部、下方は副次ホール(直径35cm)の部分に当る。天井部は脱色しないままに深く剥離部分を拡大させているのに対し、下方では脱色を伴いながら、ゴマ塩状から米粒状に、さらには面的に剥離部を除々に広げていきつつある状況を示しており、ホルルの上方と下方では変化の進み方と速度に大きなちがいがあることがよくわかる。

B-6・7は、ホール内右側の状況を示す、6は着色から1年半後、7は着色から3年後。上方は天井部にかけて、下方は直径20cm、15cm、6cmと3つの小さい副次ホールの部分に当る。6と7を比較すると左側よりおくれていた天井部の剥離が急速に進んだことがよくわかる。

### C : 剥離の進み方と速度の比較

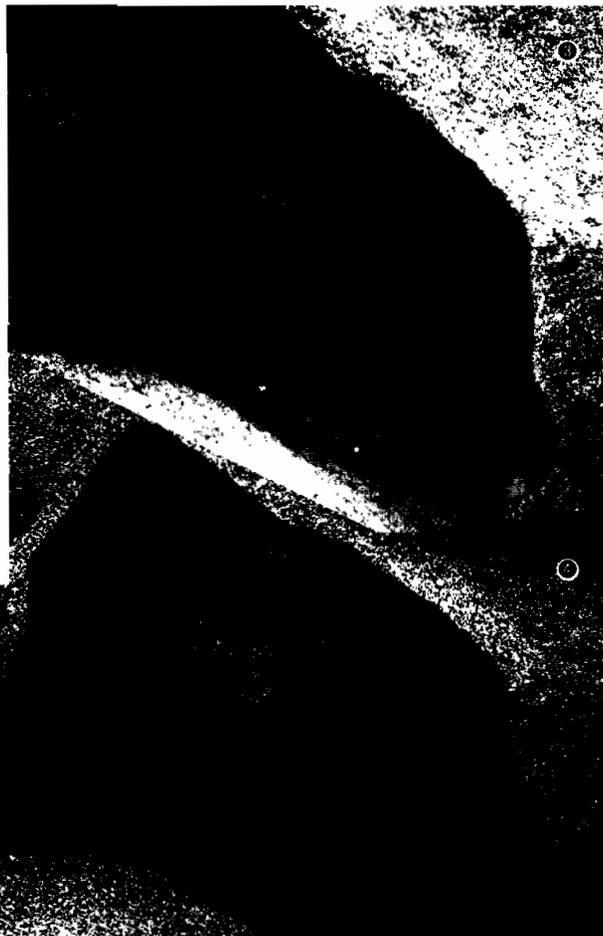
C-8は、ホール内天井部で最も速く剥離面が拡大している部分の状況。この部分では、鉱物粒子が分離しバラバラと落下するものより、剥ぎ落すように面的な剥離を進めている。着色による粘着性の影響もあるが、ホール底部に落下している着色のない新しい Rock meal にも1cm位の大きさのものが散在していることからわかる。

なお、落下部の状況からも、脱色とかかわりなく厚く剥離していく様子がわかる。

これに対し、C-9はホール内左側の副次ホールである。ここでは、脱色を伴いしつつ剥離部さらには剥離面を生じ、広げていきつつある様子がわかる。

このような剥離の進み方と速さの相違は、天井部が物理的風化作用により旺盛にホルルの拡大を進めているのに対し、下方部では化学的風化作用と物理的風化作用とが重なり合いつつも物理的風化が弱いために、天井部より剥離の速度はやや遅いことが証明できた。さらに、この差がホール内の形状の変化を決めている。

A : Studied Area of the Tafoni Topography in Jhumonjin



- (1) Topography in the vicinity of the study area.
- (2) The area of the studied tafoni topography.
- (3) November 23, 1987: Ruler is 20 cm long  
(1 1/2 years after color application).
- (4) May 26, 1989 (3 years after color application).

B : Exfoliation of the Tafoni Hole

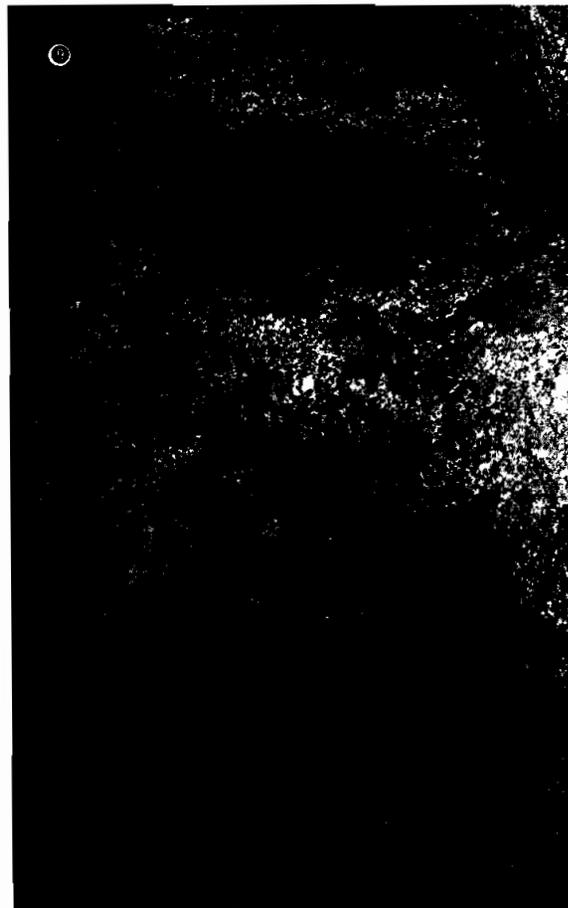


- (5) Left side of the hole: May 26,1989  
(3 years after color was applied).
- (6) Right side of the hole: November 23,1987  
(1 1/2 years after color was applied).
- (7) Right side of the hole: May 26,1989  
(3 years after color was applied).

C : Blow-up View of the Area of Most Advanced Exfoliation



- (8) Ceiling of the inside of the hole.
- (9) Left inner part of the inside of the hole.



D : Tafoni Example Facing away from the sea



- (10) Location of the tafoni
- (11) Tafoni hole with child standing next to it
- (12) Photo 11 seen from the left side (ruler is 1 meter long)
- (13) Blow-up view of the upper part of the photo (12) surface.

#### D：海を背にした典型的な Tafoni の例

着色実験ホールに選定した海を向いた Tafoni が海水や波しぶきの直接の影響を受け形成されたものとの誤解を招かないためにも、同海岸で同高度に位置しながら、海に背を向けて発達している典型的な Tafoni ホールの1例をあげておくことにした。

D-10は、着色実験 Tafoni からみた、海を背にする Tafoni (矢印がホール) の周辺部。

D-11は、典型的な Tafoni に成長したホールとそこで遊んでいた子供。

ホールの高さは最大145cm、幅は最大115cm。ホール内は、上下2段に分かれており、子供が中に入って遊んだり、雨宿りもできるほどの規模である。

上段のホールは、高さ55cm、幅115cm、奥行き110cm。下段のホールは、高さ90cm、幅80cm、奥行き60cm。上段・下段共生長中だが、上段の方がより Active である。

D-12は、写真11を左側から見た状態、メジャー（折尺）は1m。

Tafoni は、大きな岩塊の写真の右側（陸側）から形成がはじまり、発達・拡大してくるに従って（ホール内部は、剥離が盛んで若く新鮮だが）外側からの破壊も進んできている様子がよくわかる。

D-13は、写真12の上方部表面の拡大。

深く刻みこまれた「風化<sup>び</sup>鱗割れ」の進む岩肌の状況。

鱗割れの幅は6~10cmに達し、深さは8~12cmとさらに大きい。付近の岩には幅12cm、深さ18cmに達するものも見られ、表面風化が、きわめて激しい地域であることを示している。

## V. まとめ

韓国には Tafoni 地形が各地に分布している。それには、古い時代に形成され現在は化石化している Tafoni と、現在形成（生長）中の Tafoni とがある。

今回は現在の気候環境のもとで形成されつつある Tafoni のうち、韓国東北部の注文津近くの海岸で、典型的な Tafoni Hole 1つを選び、ホール内の剥離の様式と速度および Tafoni 全体の形成過程を知るために、実験および観測をおこなった。

実験地付近の Tafoni は、花崗岩からなる海岸に位置しているが、海面から約10m高く、汀線からは約20m離れている。実験に使用した Tafoni のように海の方を向いているものも、よほどのストームの時以外は波やしぶきの影響を受けることはなく、また付近には海を背にした Tafoni も存在していることから、Tafoni の形成は波やしぶきが直接的な要因ではないことがわかる。

実験は、Tafoni ホール内の剥離 exfoliation の状況と速度を知るために、ホール内全体をスプレー式のラッカーで着色し、その色（塗料）が脱色したり、剥離していく過程を詳細に観察・観測した。

その結果、わずか3ヶ年間の観測からも、Tafoni ホール内の剥離が活発で、かつその変化・広がり傾向が把握できた。すなわち Tafoni ホール内の奥や天井ほど剥離が進んでいる。天井では3年間ですでに40%が剥離した。ホール内全体としては20%位が脱色・剥離している。このうち、脱色作用は化学的風化作用であり、夏季を中心に進行しているが、旺盛な剥離作用は物理的風化作用によるものであり、これは秋から冬季、さらには春にかけての寒冷（凍結）と温暖（融解）のくり返しの著しい時期に進んでいる。

これは湿気を含んだ気流によってもたらされた水分が、鉱物粒子間内に入り、そこで凍結、膨張、その後融解を繰り返すことによって鉱物粒子を分解し剥離を起こしているため

ある。なお、韓国での研究には Tafoni の形成を塩風化 Salt Weathering と結びつけたものもあるが、海岸部の Tafoni には潮風が風化を助長しているとしても内陸部の Tafoni にはその影響は受けないし、鉱物内からの塩分の折出を考えるならば、もっと広範な地域で多数の Tafoni が生じてよいだろう。これらの点から筆者は塩風化を Tafoni 形成の主因とは考えない。

むしろ、全体としては、ホール内での日陰風化であり、湿った気流の進入と凍結・融解が主要因と考える。

さて、実験した Tafoni ホールの拡大は、天井部で最も速く進んでおり、その速度は1年に1mm程度と推定された。そうすると、1000年で1mとなる。ただし、Tafoni ホールの形成は初期程長時間を要し、ホールが大きくなってから速く、加速的に進行するものと考えられる。今回実験した注文津での Tafoni ホールは、現在最も速く拡大作用が進行している状況下にあると考えられる。

従って、注文津付近においては、現在と同じ環境条件ならば Tafoni は $10^3$ 年オーダーで、すなわち、完新世のみでも十分形成されることが推定できた。

韓国では、化石化した Tafoni の分布地が馬耳山や徳崇山・ソウルなどの内陸地にみられ、それらのなかには現在の気候条件下では破壊されつつあるとみられるものがあることから、それらの多くは最終氷期に形成されたものと考えられている。これに対し、本地域のように現気候下でも Tafoni が盛んに形成されているところもあり、その実態を今回実験で証明できた意義は大きい。

今後も、この実験地での観測を継続していくとともに、他地区の Tafoni との比較調査を進めていきたいと考えている次第である。

## 謝 辞

今研究に対して、終始御協力と御教示をいただきました、元全羅北道教育委員会学生科学館地学研究室主任の姜龍錫先生に対し、心から感謝の意を表します。

## 注

- 1) 張載勳(1966) : 山麓緩斜面地形に対する研究—求礼・堤川・忠州地域を中心として, 地理学, 第2号.
- 2) 金道貞(1972) : ソウル近郊の花崗岩風化に対する気候地形学的考察, ソウル大学駱山地理, 第2号.
- 3) 赤木祥彦(1971) : 韓国光州付近の Pediment と岩塊流, 東北地理, 第22巻第2号.
- 4) 權純植(1978) : 釜山市梵魚寺周辺の Blok Field, ソウル大学地理学論叢, 第5号.
- 5) 張 昊(1983) : 智異山地主稜線東部の周水河地形, 地理学, 第27号.
- 6) 權炯熙(1985) : 金井山の Tor 現象に関する研究, 地理学, 第32号.
- 7) C・R・Twidale(1982) : Granite Landforms, Elsevier, Oxford.
- 8) H・Wilhelmy, 谷岡・北野訳(1980) : 気候地形学, 地人書房.
- 9) C・D, Ollier(1969) : Weathering, Oliver&Boyd・Edinburgh.
- 10) H・Wilhelmy 8)による.
- 11) J・Tricart(1977) : Precis de Geomorphologie・P 58 Fig 26, Societe D'epition D'ensei-gnement Superievr, Paris.

- 12) J・N・Jennings (1968) : Tafoni, The Encyclopedia of Geomorphology, Dowden Hutchinson.
- 13) 朴東源 (1983) : 韓国の地形研究における問題点と展望, ソウル大学地理学論叢, 第10号.
- 14) 赤木祥彦 (1978) : 韓国における地形研究の動向, 地学雑誌87-3.
- 15) 金周煥・張載勲 (1977) : 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, 第4号.
- 16) 張 昊 (1983) : 南西部地方の諸岩石に現われる風化穴の成因と形成時期, ソウル大学地理学論叢第10号.
- 17) 金恵子 (1981) : ソウル付近の Tafoni 現象に関する研究. 祥明地理第1号, 祥明地理学会.
- 18) 金恵子 (1984) : 道峰山と仏岩山地域の Joint・Tor・Tafoni に関する研究. 東国地理第5号.
- 19) 池田碩・姜龍錫 (1981) : 韓国・全州東部の馬耳山にみられる Tafoni 地形, 奈良大学紀要第10号.
- 20) 成考鉉 (1982) : 馬耳山一帯の Tafoni 微地形の気候地形学的研究. 梨花女子大学校緑友会報第24号.
- 21) 金大經 (1983) : 全北鎭安の馬耳山に発達する Tafoni 地形に関する気候地形学的研究. 全州教育大学論文集第19号.
- 22) 秋美羊 (1983) : Tafoni の形成過程に関する研究—徳崇山を対象として—, ソウル大学地理学論叢第10号.
- 23) U.S.AのIdaho州 City Rock 地域や Arizona州 Prescott 付近で調査.
- 24) 池田碩 (1989) : 地中海 Corsica 島の花崗岩地形, 奈良大学紀要第17号.

### Summary

Tafoni topography is distributed throughout The Republic of Korea. There is tafoni topography that was formed in ancient times and remains today fossilized, and there is tafoni topography that is being formed today. Here, a tafoni area near Jhumonjin on the coast of northeastern The Republic of Korea was selected for study. It is thought to be one of the most rapidly developing types under our present climatic conditions. In the area, a typical tafoni hole was selected, and its speed of development and process of formation was studied and observed. The vicinity of the study area is located along a granitic coast. It is 10 meters above sea level and 20 meters inland from the coast. Of course, there are tafoni holes facing the sea, but even so nothing less than the wind from a great storm would directly effect such holes. However, nearby there is tafoni topography that does not face the sea and does not develop under the influence of waves, salt spray and the like.

In order to study the change that occurs in a tafoni hole due to denudation, a color was sprayed over the entire inside surface of the hole, and the changes in this colored surface over time was observed to understand the exfoliation process. In just 3 years, exfoliation was observed to occur here and there inside the hole. In other words, exfoliation was found to be occurring at the deepest place in the

hole as well as on its ceiling. Some 40% of the paint had fallen off in just 3 years, while about 20% of the entire hole had experienced exfoliation, color change and/or paint peeling. Paint color change is thought to be due to chemical weathering mainly in the summer. However, exfoliation on the ceiling of the hole is thought to be due to physical weathering mainly in the fall to winter and winter to spring, the periods of greatest repeated freezing and thawing. Wind carrying moisture in that humid climate permeates the textured minerals of the hole. When this moisture freezes, the water expands resulting in exfoliation and dissolution of the surface. Expansion of the tafoni hole occurs most rapidly on the ceiling conjectured to be happening at a rate of about 1 mm/year, i.e. 1 meter/1000 years.

However, in the beginning the tafoni hole didn't develop so quickly, but once it had formed to some size, the process is thought to have proceeded more quickly. The tafoni hole studied here is thought to be in its most rapid development phase. It is thought to have developed over a period of some 1000 years or so during the post-glacier period.

There is much fossilized tafoni topography in the inland areas of the country, for instance near Seoul etc. Some of this topography is being destroyed by present climate conditions and thus can be thought to have been formed during the last glacial age. On the other hand, the research reported here proves that tafoni topography is still being formed today even under present climatic conditions, an important geographical discovery.

Observation of the exfoliation process occurring in the Jhumonjin area will continue in the future. Also, comparative research on tafoni topography in other parts of The Republic of Korea will be conducted.

by : H.Ikeda

Sept. 1989