

韓国・全州東部の馬耳山にみられるタフォニ地形

池田 碩*・姜 龍錫**

Mt. Mai Tafoni Topography Located in the Eastern Jeonju Region of South Korea

Hiroshi IKEDA and Ryongsuk KANG

(昭和56年9月30日受理)

1. はじめに

韓国と日本とはほぼ同緯度上に位置しながら、地形には微妙な差が認められる。それは韓半島が大陸に接しており、しかも半島全体としての地盤運動は、第四紀を通してかなり安定した地域であったのに対し、日本は新期の造山地域であり、この間にも著しく変動してきた陸塊であること。そのうえ、地形を修飾する気候は、共に大陸東岸のモンスーン地域に位置しながらも、内容的にはかなり異なり、韓国の方が夏のモンスーンが弱く、特に冬季の寒冷・乾燥が顕著なことなどによるのであろう。

しかも、このような環境は、古気候を考える場合も基本的に同様の差を生じていたものと思われる。たとえば、それらを示す気候地形には、日本よりはるかに分布や密度ともに高いペディメントやドーム状の地形の存在、岩屑斜面や岩塊流の存在、さらには今回あつかうタフォニ地形の存在も、それらの代表的なものである¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

ところで、タフォニ (Tafoni) とは、地中海周辺の花崗岩地域に広く発達し、天蓋状のオーバーハングをもつ洞穴状の風化浸蝕地形のことで、典型的な分布地であるコルシカ島でそのような地形を Tafonera (穴だらけ) と呼ばれていることからとられた地形の形態に対する用語である⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

タフォニは、花崗岩やその他の深成岩地域、さらには砂岩や礫岩地域で、岩石の表面が交互に湿ったり、乾燥したりするような気象条件の地域に形成されるようである。

タフォニの分布地域は、地中海周辺をはじめとし、ナミブ砂漠、ペルーの海岸砂漠、ウルグアイ、U. S. A の南西部、オーストラリア中南部、韓国、さらに南極大陸のガウス山やビクトリアランドなどかなり広範な地域におよんでいる⁸⁾。

ところで、韓国におけるタフォニは、金周煥・張載勲の報告⁹⁾によると、花崗岩地域に種々のタイプのものが存在しており、タフォニを形成しているところは太陽の直射する側

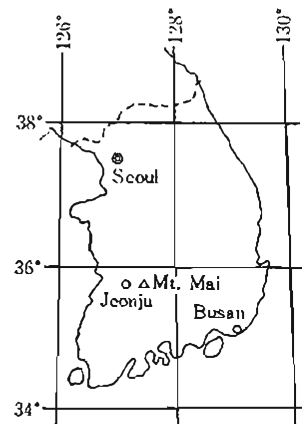


Fig. 1. The Location of Mt. Mai, South Korea

* 奈良大学地理学研究室

** 全羅北道教育委員会学生科学館地学研究室

よりも日陰側に多く、その成因は塩分の作用による風化 Salt Weathering とされている。

しかし、本稿であつかう内陸部の礫岩地域に発達する馬耳山 Mt. Mai のタフォニは、傾斜の強い、しかも南侧の太陽のよく当たる斜面にのみ発達しており、塩風化によるとは思われないきわめて特徴的なものである。

ただし、タフォニ地形には、それが形成される岩種とともに、周囲の気象環境や気候変化ときわめて緊密な関係をもつことが予想される。そうした視点をふまえて、今回は馬耳山におけるタフォニの実態を中心に報告し、気象観測の結果とそれらをもとに若干の考察を加えてみることにする。

2. 地理的位置と地質・地形の概観

馬耳山 (650m) は、韓国中南部全羅北道の中心都市全州の東方約 40km、海岸からは約 100km 離れた、海拔 300~400m ほどの山間地に位置するドーム状丘陵地である。

緯度上では、日本の敦賀・東京とはほぼ同じ位置を占めるが、気候は内陸的で乾燥しており、特に冬季の低温は著しく (Table 1. 国立中央観象台全州測候所資料参照)、山麓に位置している池も凍結し、結氷してしまう程である Photo ⑧。

馬耳山の地質¹⁹⁾は、中生代白亜紀の淡水性の礫岩であり、その母岩は花崗片麻岩を中心に、千枚岩・片岩などからなる。礫の大きさは直径 10~30 cm 位の亜円礫が多く、最大は直径 2 m にも達する。マトリックスは砂質である。この付近の礫岩の層理は大体 N 20° W・dip 4°~10° N 位で、ほぼ平行に緩斜した状態である。

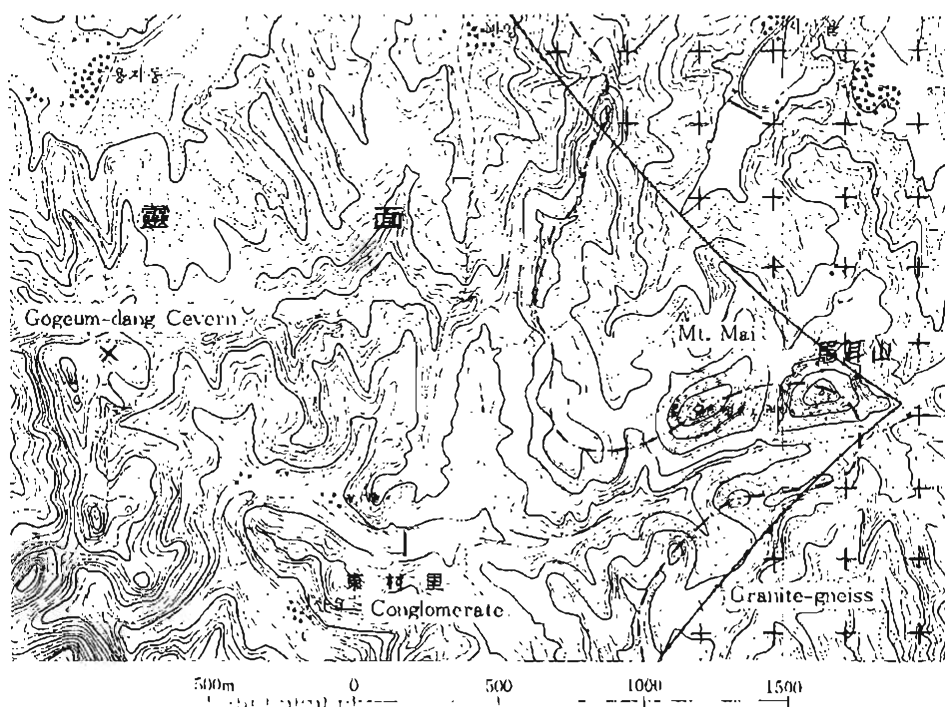


Fig. 2. Geology and Topography of the Study Area

馬耳山の北側と東側一帯は、礫岩の主たる母岩である先カンブリア紀の花崗片麻岩地域となっている。

礫岩地域・花崗片麻岩地域の関係は、かつて花崗片麻岩地域の方が高く、周囲の低い地域（現礫岩地域）へ大量の砂礫をもたらしていたものと思われるが、地盤の隆起後は、花崗片麻岩地域の方が風化作用が著しく、このため浸蝕も速く進み、次第に高度は逆転し、現在のように礫岩地域の方が高くなったものとする。

また、礫岩地域には断層や垂直に近いタテの割れめ（節理を含む）が非常に多く、このため高度の逆転後は線的な浸蝕が進んだようである。しかも礫岩内での断層や割れめの密度差から、それらの少ない部分が馬耳山に代表されるような残丘状のドーム地形を形成してきたものとする。

古い断層線を中心に浸蝕が進み、また礫岩地域内では、谷間と残丘状地との間に、高度差が著しくなってくるに従って突起部はさらにその周辺部から垂直に近い割れめを境として、自重も加わり、除荷のためにも重力的に落下し、次第にドーム状の直立するような急崖面を形成してきた。

このためドームの脚部には、明らかにそのようにして落下した大岩塊が散在しており、それらの生々しいものから、すでに落下した岩塊がさらに細分化して、植生におおわれる状態に至ったものまで系統的に観察することができた。

3. タフォニの分布と形状

馬耳山におけるタフォニの分布の特徴は、タフォニが発達し、しかも集中しているところと、まったく存在しないところとに明瞭に分けられることである。そこで、まず発達しているところと存在していないところについて、さらに発達しているところの中でも集中地域とその周辺部について、それぞれの特徴を整理してみよう。

まず発達しているところは、丘陵部の急崖斜面が、ドーム状地形の急崖斜面で、大体 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 以上の傾斜を持ち、しかも植生の付着しない裸岩面であり、そのうえ南側斜面に限られている。さらに南側斜面でも、太陽のよく当るところにのみ存在しており、そこでも斜面の傾斜が緩くなり、植生が付きだすところではタフォニはできていない。

タフォニの規模は、出現初期にあたる数 $10\text{cm}\sim 1\text{m}$ 内外の小さいものから、 $5\sim 10\text{m}$ を越すような巨大なものもある。その形は小さいものほど複雑な形状をしているが、規模が大きくなっていくに従い、ほぼ水平方向に広がり、円味をおびた形の整ったものが多くなる。その奥行は大体 2m 位である。すなわち、この種の完成した姿のタフォニは Photo ④①①で見られるように奥行きはほぼそろい、おおむね礫岩の層理に沿って横へ拡大し、わずかに傾いて配列している。そこで、このタイプを表層型のタフォニとしておく。

これに対し、地形的には同条件のところでも、タフォニが存在しない場所は、南側斜面以外の陽当たりが弱い、陽陰げの部分である。そこでは一般に、斜面全体に苔や草が付着しており、斜面にはある程度の湿度が保たれていることが推測される。これらのことからタフォニの形成には、日照と乾燥の果たす役割が大きいことがうかがえる。

ところで、タフォニが存在している南側斜面のうちでも、急崖斜面の中腹部を中心に特に密集しており、頂上付近まで急崖が続き、植生のない部分ではさらに上方まで存在している。下部では対岸の山影によって陽当たりが遮断されないようなところでは、やはりかなり下方にまで存在している。

一方、馬耳山の西方 2.5km のところの山腹に位置する懶翁庵 Gogum-dong Cavern の

周囲には、同じ礫岩地域でありながら馬耳山ドームに見られるタフォニのタイプとは、まったく形状を異にする洞窟型タイプのタフォニが存在する Photo ⑥⑦⑧。すなわち、奥行きが深いタイプで、なかには地表部のタフォニの入口より、内部の方が広く大きい場合もある。

このような洞窟型のタフォニが形成されている斜面は、直立ないしオーバーハングしており、その形成は明らかに、山上部からの滲透水が山体内へ入り、それが斜面の一部から噴出するところに出現したものである。表面は風化殻ができて硬化しているが内部ではさらに水和作用により化学的風化を進め、一層洞穴を広げていったものと思われる。

4. タフォニと形成環境

地表面からの特殊な風化・浸蝕作用にもとづいて形成されてくるタフォニだが、特に馬耳山の場合には、同岩質の同様急崖斜面の中でも、南側斜面にしか存在せず、しかもそのうちでも太陽の直射するところのみ存在することから、タフォニの形成には、日照と乾燥が大きな要因となっていることを推定した。

Table 1. Humidity and Temperature of the Jeonju Region (Jan. 1~13, 1981)

Day	Time	3	6	9	12	15	18	21	24
1	Temperature Humidity	-5.2℃ 89%	-8.2 56	2.7 67	2.8 93	-0.1 96	-1.8 89	-2.2 83	-2.9 79
2	"	-3.8 94	-4.1 96	-4.2 96	-4.8 87	-3.2 83	-4.6 91	-5.0 91	-5.4 90
3	"	-5.9 85	-6.5 82	-7.4 91	-4.3 69	-3.6 62	-5.6 60	-8.5 76	-10.5 84
4	"	-12.2 89	-12.6 88	-10.2 88	-4.7 60	-3.7 58	-4.9 63	-6.9 77	-7.8 83
5	"	-9.0 84	-10.0 85	-6.9 67	-4.6 58	-4.0 55	-5.3 65	-8.1 79	-10.4 88
6	"	-11.4 87	-10.9 90	-9.4 89	-4.6 60	-3.0 45	-4.0 55	-7.5 76	-7.3 83
7	"	-8.2 90	-9.7 91	-8.8 89	-1.6 54	-0.2 42	-1.9 50	-5.6 70	-7.9 80
8	"	-8.8 89	-9.6 88	-8.6 89	2.4 54	2.9 53	1.6 60	-1.9 81	-3.4 86
9	"	-3.3 89	-4.6 91	-4.6 91	3.9 63	3.9 65	0.6 74	-1.6 76	-2.4 78
10	"	-2.6 80	-4.4 96	-3.7 86	-2.0 81	-1.0 69	-3.5 80	-5.2 75	-6.0 92
11	"	-6.9 72	-8.6 76	-8.3 72	-3.0 54	-0.2 52	-1.4 62	-0.7 92	-2.3 92
12	"	-4.1 88	-6.6 86	-7.0 79	0.1 54	-1.5 96	-1.2 78	-2.0 70	-4.2 71
13	"	-4.3 64	-6.6 77	-7.2 83	-2.4 61	-1.8 41	-3.6 49	-5.6 64	-8.3 79

すなわち、日照は陽当りと陽陰げ側とで温度差を、また陽の当る側でも昼夜での温度差を大きくし、さらには雨や雪が降っても、天気回復すればすぐに蒸発乾燥させる。また馬耳山の場合、南側は東西性の谷間となっており、この谷間にはしばしば夜間から朝方にかけて霧が発生する。このため好天の日でも岩肌は霧がもたらす水分で湿らされるが、太陽が昇ってくるに従い乾燥する。

このように太陽が直射する斜面は、常に湿潤と乾燥をくり返し、また昼夜の温度差は、鉱物粒子間・マトリックス物質間の分解を促がし、さらに冬季にはそれが凍結・融解による分解やソリフラクションを進めるなど、物理的風化作用を増大させるのに非常に好都合なところである。

これに対し、陽陰げ側斜面では、乾燥度は弱く、温度差も小さい。このため地表部には苔が付着し、草や小さい灌木が生えており、両側での差を如実に示している。そのうえ、冬季には、雪におおわれるため岩石の表面から浸み込んでいる水分も凍結したまま、春の融解時まで長期にわたり同状態が続く。この間にも盛んに凍結・融解をくり返す南側とでは著しく条件を異にしている。

そこで、このような南北両側での微気象の差を実証しておくため、最もちがいが大きく現われ、しかもタフォニの形成にとって重要な季節と思われる冬期を選び気象観測を行なった。その結果は Fig. 3 に示したが、やはりこれまでに記してきた推測を明瞭に裏づけることができた。すなわち南側の方が、全体として気温の振幅はるかに高く、しかも天気の良い日ほどその差が大きく開くことがはっきりした。

ところで、タフォニの状態を観察していくうちにタフォニの中には周辺からの著顕な風化作用によって破壊されているものや、崩壊しつつある部分が目立ち、どうも現在タフォニは形成されている分よりも、風化が進み剝離解体されてきているものが多いことがわかってきた。

すなわち、Photo ①①②にも示したごとく、断層崖下部や、割れ目が大きく、または割れ目が多く、湿度の高いようなところから、さらには降雨を受けやすい斜面での解体が進んでいる。特に馬耳山のうちでも東側のドームではほぼ全面的に表面の風化が進

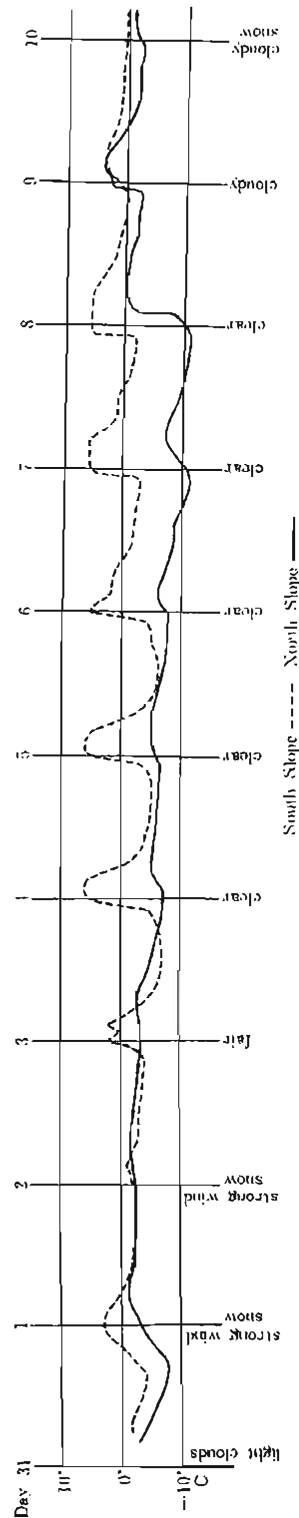


Fig. 3. Weather Observation Record for South Slope and North Slope of Mt. Mai (Dec. 31, 1980-Jan. 10, 1981)

み、このためタフォニも相接するものが複合したり、さらには面的な破壊へと至っている。これらのことからタフォニにとっての現在の気象環境は、より温暖湿潤な状況にあることが想定される。

すなわち、タフォニは現在より一層乾燥し、太陽の当る側の斜面では、今よりさらに凍結・融解作用やソリフラクションが卓越するような気候環境のもとで形成されてきたものと考えたい。

周辺の山中には、岩塊流 Photo ③ が存在しているが、この付近の岩塊流も現在は形成されておらず、同じような寒冷な時期に形成された化石地形と考えられる。

ただし、洞窟型のタフォニの形成には、南側の斜面や気象との関係はなく、むしろ礫岩の風化に対する性質や風化の状況と、それに伴う滲透水の流れかたや流量などに関係しており、しかも内部に水流の跡があることから現在なお進行しつつあるものとする。

5. さ い こ に

タフォニは、花崗岩などの深成岩地域や砂岩・礫岩地域で発見されており、それらは概して鉱物粒子や構成物質の粗粒な岩石であること。しかも化学的風化が著しく進むような温暖湿潤なところには形成されず、昼夜の温度差が大で、さらに凍結と融解をくり返す物理的風化を進めるような、乾燥気候下で盛んに形成される。

韓国では、すでに金周煥・張載勲によって調査されているように、花崗岩地域によく発達している。筆者も Seoul 北方の北岳山周辺で観察した。ただし金周煥・張載勲は、その成因に主眼をおいて調査を進めているためか Salt Weathering によって形成された地形として報告されている。これに対し筆者等が今回調査した馬耳山は、内陸の淡水性の礫岩地域にみられる穴状のくぼみとそれが群をなす浸蝕地形で、しかもかなり規模の大きいタイプであり、Salt とは現在も過去にも関係ないと思われることを含め、むしろその形態に注目し、国際的に使用されている地形用語としてのタフォニを使うことにした。

馬耳山の表層型タフォニの特徴は、その分布する場所がきわめて限定されていることにある。すなわち、南側で 50° ~ 60° 以上の急崖斜面のうちでも、太陽の最もよく当る部分にしか存在していない。

このことからタフォニの形成には、日照や乾燥、さらに霧の発生など周囲の気象環境が大きく関与していることが推測される。

そこで冬期に気象観測を行なったところ、同条件の地形面であっても南側斜面と北側斜面とでは気温で 10°C 以上の差があることがわかった。

さらに現在のタフォニは、化学的風化が進み、剝離し破壊されているものや場所が目立つことから、タフォニにとっての現在の気象環境は温暖湿潤過多となっているものと考えた。タフォニが盛んに形成されたのは、今よりさらに凍結融解作用やソリフラクションを著しく進めるような環境のもとで形成されたのであり、その時期は Würm (Wisconsin) 氷期とそれに続く寒冷期であったものとする。周辺の山中に存在する岩塊流も現在は形成されてはいなく、タフォニと同じような寒冷時代に形成されたものである。

一方、洞窟型のタフォニの場合は、山上部からの滲透水が斜面の一部に湧出してくるところに形成されたもので、気象との関係はあまりなく、内部に水流の跡があることから現在なお形成過程にあるものとする。

以上のように、タフォニという特殊な小地形が形成される機構を考える場合、岩種の性質や周囲の微気象条件、さらにはそれが形成されやすかった時代の気候環境などを含めて



—Photo 1—

Mt. Mai Dome Landscape

A Tafoni Topography Developed on a Sunny South Slope



B Mt. Mai Seen from the North
and a Frozen Mountain Pond



C Fossilized Blockstream in the
Mountains



D The Author Standing in a
Tafoni Hole

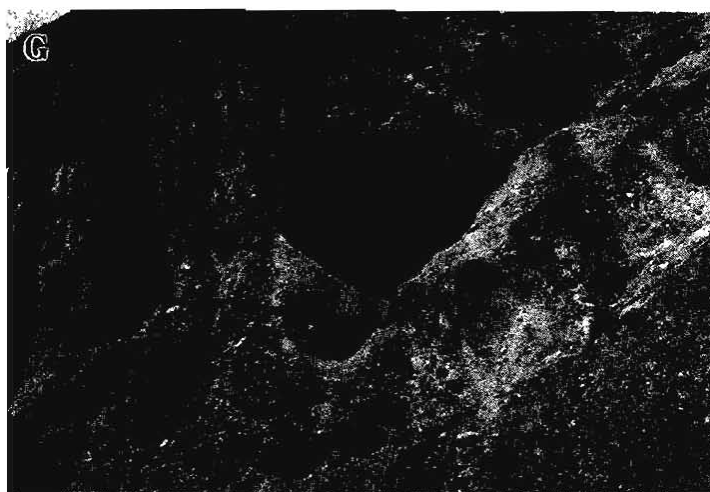


E Surface Condition of the
Tafoni Shown in D Measuring
Stick is 50cm Long

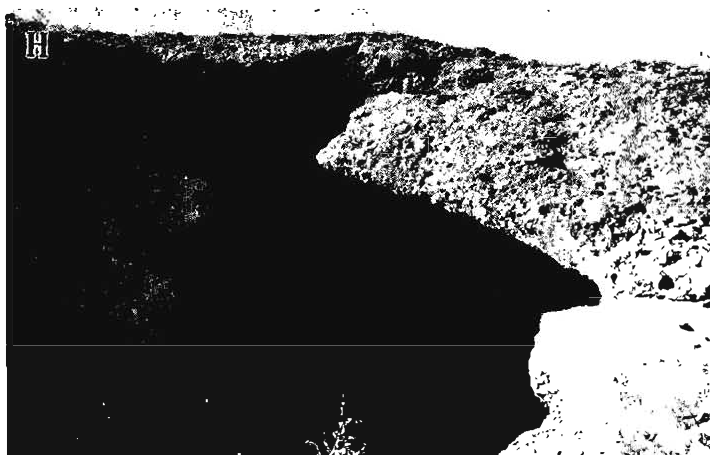


Cave-shaped Tafoni

F Face of Fault Scarp
in an Overhanging
Tafoni



G Tafoni in Which
Internal Weathering
is Further Advanced
than that of Surface
Opening



H Typical Cave-
shaped Tafoni



A Tafoni Collapsed Due to Weathering

I Collapsing from Fault Upward



J Tafoni Undergoing Collapse



K A Totally Collapsed Tafoni Surface

The present climate in the Mt. Mai area is too warm and damp for the development of Tafoni topography. The Tafoni seen there today developed due to alternating freezing, thawing and solifraction during the Wisconsin Glacial Age.

気候変化を考慮しなくてはならないこと。また現在の気候条件下でおかれている状況一破壊されているものや形成中のもの一の区別など、きわめて複雑な条件がからんでいることが明らかになった。

今後、このような気候地形学的な視点からの研究を進める必要性が痛感される。

また、タフォニが花崗岩地域だけでなく、今回報告した馬耳山のような礫岩地域にも見られるなど、かなり広範囲に分布していると思われる韓国は、この種の研究にとってすばらしいフィールドである。調査を地域的に拡大し、その分布や地形の記載を量的に蓄積されることが切に望まれる。

謝 辞

現地調査において、常に御援助をいただいている全州教育大学金現洙教授、および馬耳山でロッジを運営されるかたわら自然保護に務めておられる李旺善氏に対し、感謝と敬意を表します。

注

1. 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研究—特に白雲台および仁寿峰地域を中心として—, 駱山地理, ソウル大地理学科, 第2号。
2. 赤木祥彦 (1965): 朝鮮の Pediment, 地理学評論, 第38巻, 第11号。
3. 赤木祥彦 (1971): 韓国光州附近の Pediment と岩塊流, 東北地理, 第22巻, 第2号。
4. 張載勲 (1966): 山麓緩斜面地形に対する研究。一求礼・堤川・忠州地域を中心として—, 地理学, 第2号。
5. R. W. Fairbridge (1968): Tafoni. The Encyclopedia of Geomorphology. Reinhold Book Corporation.
6. W. Klier (1956): Verwitterungsformen im Granit auf Korsika. *Pet. Geogr. Mitt* 261.
7. 谷岡武雄・北野善憲訳 (1980): ヘルベルト・ウイヘルミー著, 気候地形学, 地人書房。
8. 筆者も U. S. A. のフェニックス周辺 (1977)・韓国では本論で示す馬耳山のほか, Seoul 北部北岳周辺 (1980) で確認。
9. 金周煥・張載勲 (1978): 韓国の花崗岩に発達する Salt Weathering 現象に関する研究, 地理学研究, 第4号。
10. 島村新兵衛 (1923): 全州及鎮安地質図幅, 朝鮮総督府, および筆者等の現地調査による。

Summary

Tafoni is a kind of topography formed when exposed bedrock is weathered and eroded forming holes and caves in its surface. The origin of the "tafoni" is an area on the island of Corsica in the Mediterranean Sea where there are many holes, called "tafonera", adulterated to "tafoni" and now part of the topographic vocabulary.

Tafoni often develops in granitic and other plutonic rocks but is also seen in sandstones and conglomerates. It has been seen in the regions surrounding the Mediterranean Sea, in central Australia, in the middle-western United States, and in Antarctica. It is said to develop on the surface of exposed bedrock in areas the climate of which varies repeatedly between wet and dry.

Mt. Mai, being reported on here, is a dome-shaped mountain 650 meters high and located in the west-central part of South Korea, 100km inland from the coast. The tafoni on Mt. Mai is a series of elliptical shallow holes on the surface of the rock

parallel to the slightly sloping strata of the mountain, but there are also some deep cave-like tafoni holes as well. The distribution of shallow surface is limited, i. e. they are found only on south-facing surfaces which slope 50° - 60° and more and upon which there is no vegetation. Thus, it can be said that the development of tafoni has a significant relation-ship to climatic conditions. On the other hand, the cave-like tafoni holes are found on even steeper or overhanging slopes. These cave-like holes are deep developing due to the outflow of saturation water and thus have no particular relationship to climate, slope nor aspect.

The south-facing slopes receive the direct impact of the sun's rays. There, the difference between daytime and night-time temperatures are maximum. Furthermore, during the night, fog develops easily there dried quickly in the morning sunlight. Also, after it rains, those dry extremely quickly. In the winter, moisture on the surface constatly freezes at night and melts in the morning. Tafoni also develops on areas subject to solifraction. In contrast, on the surfaces without tafoni holes, sunlight is weak, and mosses and grasses develop. Furthermore, during the winter, these areas are covered continuously by snow, i. e. mineral weathering processes involving freezing and thawing do not operate, nor does solifraction occur.

There remained the necessity to prove the difference in conditions between the north and south sides. Thus, winter climatological observations were conducted, the results shown in Fig. 3 and the difference proven beyond a doubt.

Further investigation into the places where tafoni holes develop leads to the conclusion that presently, the atmosphere is too warm and damp for the development of tafoni; In fact, today, areas around existing tafoni are crumbling and collapsing. It would have taken much stronger operation of the freeze-thaw process and solifraction, such as that of the Wisconsin Glacial Age, for new tafoni to develop.

In the mountains surrounding Mt. Mai, blockstream can be found, but it is not being formed today. Blockstream can be thought to have been formed during the same cold Glacial Age as tafoni.