

長島洞窟群の緊急調査結果とその学術的重要性について

中井達郎（国土舘大学、サンゴ礁地理学・地形学）

藤田喜久（沖縄県立芸術大学、海洋生物学・洞窟生態学）

名護市辺野古崎沖に位置する長島にある洞窟群がある。この洞窟群において特異なカルスト地形があると報告されていたが、米軍普天間飛行場施設建設のために学術調査ができない状態が続いていた。今回、2018年9月8日と12日に、限られた時間と方法ながら、緊急調査を実施する機会を得た。サンゴ礁地理学・地形学を専門とする中井が、洞窟内を観察して、地形や堆積物の状況を記載した。藤田は、同島における甲殻類相調査の過程にて、この洞窟の群簡易な測量を行い、その平面的形状と断面的形状の概要を明らかにした。その結果、この洞窟は以下のような学術的な高い価値が認められ、今後さらなる詳細な調査とそれに基づく天然記念物などの保護策をとる必要があると考えられるため、報告する。

1) 平面図および断面図の形状から明らかになったこと(図1)。

長島は隆起サンゴ礁の石灰岩（琉球石灰岩）からなる。そこに穿たれている洞窟の形状を、簡易測量によって明らかにした。その結果、この地域の土地の成り立ちにかかわりを持つ地質的な事実が明らかになった。

(1) 平面図

付近には、2本の洞窟が確認された。入口から東の方向に延びる洞窟をA洞、北に延びる洞窟をB洞とする。A洞(Line A)の全長は約12mで最大幅約3mである。B洞(Line B+Line C)はA洞に比べて規模が大きく、全長約17m、幅は最大約5mである。B洞の最奥部は北西方向に細く延びている(Line C)。

(2) 断面図(注:測量の基準点の海拔高度は未定計測)

特に注目すべきはA洞で、上下2段の「ノッチ(波蝕窪)」が認められる。下段は、断面調査基準点と同じ高さで洞奥に延びるのに対し、上段はそれよりも1m以上高い位置で奥へと延びる。地形学的にはいわゆる「二重ノッチ」と考えられる。それに対してB洞は2段のノッチは認められないが、洞窟入口付近は断面調査基準点と同じ高さであるが、その奥はやはり1m以上高い位置で奥へと延びている。

これまでの沖縄の海岸地形研究で、「二重ノッチ」の下段の「くぼみ」は現在の海水準に対応したもの、上段のノッチは過去の海水準に対応したものと考えられている。すなわちA洞上段は過去この高さに海面があったとき浸食されて作られたノッチだと考えられる。またB洞についても、洞窟入口付近に比べて1m以上高い奥の段は過去の海水準に対応した地形であることが考えられる。

B洞最奥部(Line C)は、過去の海水準と思われる高さよりさらに高く、Line Cの中央付近で、現在の海水準より2~3m高く、過去の海水準に対応すると考えられる上段よりも1m以上高い。この部分の洞窟天井は現海水準から5m以上の高さとなる。

以上のことから、この洞窟群は形成プロセスによって3つ部分に区分されると考えられる。

- ① 一番低い部分：現在の海水準に対応した海的作用（波浪などによる）が浸食した洞窟。
- ② 二番目の高さの部分：過去の海水準に対応した海的作用が浸食した（＝海食）洞窟。
- ③ 最奥部（Line C）：海食ではないプロセスによって形成された洞窟。この部分の洞窟は、後述するカルスト地形である鍾乳洞だと考えられる（注1）。

2) B 洞洞窟内の堆積物・微地形の観察結果から明らかになったこと

前項では、この洞窟群が、海水準との関係から、三つの部分に分けられ、洞窟を作った作用や時期が異なる可能性を指摘した。洞窟内の石灰質の二次生成物（注 2）や礫質堆積物の観察結果は、そのことを裏付けるものであった。

(1) B 洞最奥部 (Line C) の状況

まず、B 洞最奥部 (Line C) には石灰質の二次生成物からなる鍾乳石や石筍が多く存在し、鍾乳洞独特の地形景観を形作っている (写真 1)。2m 以上の長さの鍾乳石も存在する。壁面や洞窟底もフローストーンなどの二次生成物で被われている。したがって、この部分の洞窟は、カルスト地形である純粋な鍾乳洞であり、海食の影響はないものと考えられる。ただし、Line C の断面図の左端、基部には未固結の礫が分布しており、これは海浜礫と考えられ、いつの時代かに基部までは海的作用が影響していたと考えられる。

(2) B 洞入口付近の状況

一方、B 洞の入口付近では洞窟底、洞窟天井とも二次生成物は確認できなかった。前項で述べた現海水準との関係から考えても、この部分の洞窟は海食によるものと考えるのが妥当である。

(3) B 洞中央部の状況

興味深いのは、B 洞の入口から 5m 付近より奥、Line C 基部までの区間である。ここには海的作用の証拠とカルスト地形である二次生成物の両方が確認された。図 2 に高低差は不正確であるが模式断面図 (D-D' 断面) と石灰質の二次生成物・礫質堆積物の分布を示した。まず洞窟底には、ある時代の海水準に対応すると考えられる未固結の海浜礫および海浜砂礫が層状に固結したビーチロック (注 3) が認められた。したがって、この部分は海的作用が働き、その浸食作用が洞窟形成にかかわったことが考えられる。しかし、その一方で、この部分では、天井では鍾乳石が、洞窟底にも石筍やリムストーンといった石灰質の二次生成物が確認され、鍾乳洞の様相も呈する。したがって、この部分は海的作用とカルスト地形形成作用の両方が作った洞窟群と考えられる。

特に、模式断面図の最奥部には、これまで他地域で報告されたことのない微地形が確認された。サンゴ礫を含む海浜礫が固結した高さ 50cm~70cm 程度の 3 本のタワー状微地形である (写真 7、8)。これを仮に「固結礫タワー」と呼ぶことにする。この「固結礫タワー」は、B 洞中央付近に分布するビーチロックと起源が同じである可能性が考えられる。しかし、ビーチロックと異なる点もある。1 点は「固結礫タワー」は礫のみからなり砂サイズの堆積物がほとんどないこと。2 点目は層状になっていないことである。さらに、「固結礫タワー」3 本のうち 2 本では、表面を石灰質の二次生成物がコーティングしている点が、通常のビーチロックと大きく異なる。このコーティングは、鍾乳洞壁面でみられるフローストーンと同様のものにみえる。この付近は天井が低く、鍾乳石も低く垂れ下がっている。そのため二次生成物の生成が活発だったことが考えられる。コーティングがされていない「固結礫タワー」の直上には顕著な鍾乳石はない。なお、この付近の鍾乳石先端には、今も地下水起源と思われる水滴が付いている。舌では塩味を感じることはできなかった。現在も鍾乳石が成長しているものと考えられる。

以上のことから、「固結礫タワー」はまさに海的作用とカルスト地形形成作用の両方が働いて作られたものだと考えられる。

3) 「固結礫タワー」形成プロセスについての仮説

今回の調査で得た範囲で考察を試みる。①から⑦の順を追ったプロセスで「固結礫タワー」が形成された可能性がある。

① 鍾乳洞あるいは海食洞の形成

④ 洞内に波浪が侵入。砂礫の堆積。

⑤ 砂礫がセメントされ、ビーチロックが B 洞中央付近に広く形成される。

④ 現在未固結砂礫が分布する部分を中心に、おそらく波浪によってビーチロックが破壊される。

⑤ ただし、天井が低く鍾乳石も発達する「固結礫タワー」付近では、波浪による浸食が起こる前に、

直上の鍾乳石からの水滴によって二次生成物が生じ、礫の固結度を高めた。

- ⑥ ⑤の結果、礫の固結度が高められた部分だけ、浸食されずに残され（差別浸食）、「固結礫タワー」となった。
- ⑦ 浸食され残された「固結礫タワー」直上の鍾乳石からの水滴で、「固結礫タワー」の表面がフローストーンによってコーティングされた。この作用は現在も進行中と考えられる。

4) 学術的評価と今後の詳細学術調査の必要性

沖縄各地に鍾乳洞などのカルスト地形は数多く存在し、海食作用によるノッチやキノコ岩などの地形も多く存在する。しかし、長島の洞窟群は、その両方の性格を併せ持つ、少なくとも日本国内ではこれまでに報告されたことのない地形である。これは、この地域の土地の隆起、海水準変動に関する重要なデータを提供する可能性がある。さらには、複合的な成因で形成された洞窟群であるため、洞窟内の生物にとって多様な環境を用意しているとも考えられる。以上のような観点から、長島の洞窟群は学術的に非常に高い価値を持つと考えられる。

今回の調査は限られた準備、時間の中での予察的調査である。そのため、今後、早急に以下の内容に関する学術調査を実施する必要がある。

- ① 海拔高度を入れた詳細な断面測量
- ② 石灰質の二次生成物、セメント物質の鉱物・化学分析そして年代測定
- ③ 洞窟内の生物相調査（多様な環境との関係性に関する調査を含む）
- ④ 隣接する平島においても、洞窟の存在が知られており、同様の調査が必要である。

注1 カルスト地形・鍾乳洞

沖縄では各地で鍾乳洞がみられる。それは数万年から数十万年前のサンゴ礁が隆起して陸化した隆起サンゴ礁である石灰岩が、雨水起源の地下水によって化学的に溶食されて作られた洞窟である。その中には、鍾乳石や石筍、リムストーンといった石灰質の二次生成物からなる微地形が存在する。このような地下水の化学的作用によって作られた石灰岩地特有の地形をカルスト地形とよぶ。たとえば、玉泉洞（南城市）はその典型である。

なお、このような地下水の作用は海水では起こらず、したがって海面下ではカルスト地形は形成されない。ただし、かつて海面上で形成されたカルスト地形が海中に没した沈水カルスト地形は存在する。

注2 二次生成物

二次生成物とは、鍾乳洞内でみられる鍾乳石や石筍などを形作る物質である。石灰岩は弱酸性の地下水によって溶かされ鍾乳洞などの空洞や凹地を作る。溶かされた石灰分を含む地下水が鍾乳洞内の天井に「しずく」となるとどまるときなどに、逆に溶けていた石灰分が晶出・再結晶して固まる。その石灰質の物質が二次生成物である。

注3 ビーチロック

海岸線付近（潮間帯）の浜の表面下で、海浜砂礫が短時間で自然のセメント物質によって固結したもの。浜の傾斜と平行な層をなす。

現在も沖縄各地の海岸で見られる。離水したものや沈水したものも確認され、これもノッチと同様、過去の海水準の指標とされる。