

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：18001
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21501002
 研究課題名（和文） 亜熱帯琉球列島における円錐カルストの地形特性と地形プロセスに関する研究
 研究課題名（英文） Landform characteristics and erosional processes of cone karst in subtropical Ryukyu Islands, Japan
 研究代表者
 前門 晃（MAEKADO AKIRA）
 琉球大学・法文学部・教授
 研究者番号：60190287

研究成果の概要（和文）：

さまざまな時代に形成された石灰岩が分布する亜熱帯琉球列島の沖縄の島々で円錐カルストを取上げ、円錐カルストの地形特性、地形プロセスを明らかにすることによって、円錐カルストの形成メカニズムを考えた。円錐カルストの地形特性は、石灰岩の形成年代によって異なり、その差異は、石灰岩の物性に関係していると考えられる。石灰岩表面の温度は雨による急激な温度変化が認められ、温度変化による熱風化の可能性が考えられる。円錐カルストは溶食の働きと同時に物理的風化、侵食の働きも加わって形成されるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：

Cone karst formation mechanism was examined by surveying landform characteristics and erosional processes of cone karst made of various geological age limestone distributed in subtropical Ryukyu Islands. Depend on limestone formation age, landform characteristics of cone karst are defferent. These differences are related to limestone properties. Limestone surface temperature reduce quickly due to rainfall, this suggests possibility of thermal weathering. Cone karst are formed by solution, physical weathering and erosion.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：円錐カルスト・地形特性・地形プロセス・構成物質・琉球列島

1. 研究開始当初の背景

わが国に分布する中・古生代の石灰岩は、琉球列島の亜熱帯地域では円錐カルストを

形成し、日本本土の温帯地域ではカルスト台地となって、地形の差異が見られる。地形の差異を生み出した原因は、石灰岩の溶食速度

や溶食の集中の程度の差異に求められているが、円錐カルストの斜面には岩屑が堆積しており、石灰岩の物理的風化やマスウェイスティングの物理的地形プロセスも関与しているように見えるところがある。また、円錐カルストの斜面勾配が 30° 内外でそろっている点も興味深い。琉球列島では、中・古生代の石灰岩だけではなく、第三紀、第四紀の石灰岩にも円錐カルストが発達することが知られている。

わが国におけるカルスト地形研究は鍾乳洞に関する研究が中心であり、地表面の形態、地表面の形成・変化に関する研究はきわめて少なく、物理的地形プロセスによるカルスト地形の形成・変化を論じた研究は皆無と言ってよい。外国におけるカルスト地形研究はわが国より進んでおり、その成果はかなり蓄積され、最近いくつかのカルスト地形に関する著書が出版されるようになった。しかし、カルスト地形の形成・変化に物理的地形プロセスを加味して定量的に論じた研究は少ないというのが現状である。

これまで第四紀の石灰岩（琉球石灰岩）からなる急斜面（崖）の崩落後退を力学的に解明することを試み、石灰岩の溶食による地形変化に加えて、石灰岩の崩落による地形変化・発達もあることを明らかにしてきた。琉球石灰岩の地形でマスウェイスティングのような物理的地形プロセスによる地形形成・発達があることから、形成年代が異なる石灰岩地形でも同様な地形形成・発達の可能性がある。古生代石灰岩で構成される波食棚の形成高度が崖前面の水深に関係していることを見出し、石灰岩波食棚の形成に波による力学的な侵食作用が深く関与していることが判明した。このように、石灰岩地形の形成・発達に物理的地形プロセスが関与していることが明らかになれば、これまでのカルスト地形研究で溶食が強調されている点に一石を投じることになり、また、円錐カルストの形成・発達の普遍性を考える材料になるものと思われる。

2. 研究の目的

さまざまな時代に形成された石灰岩が分布する亜熱帯琉球列島の沖縄島、宮古島、石

垣島において、円錐カルストの地形測量と構成物質の定量的な把握を行うことによって円錐カルストの地形特性・微地形特性と構成物質との対応関係を明らかにし、対応関係をもたらした地形プロセスを溶食のみならず石灰岩の物理的風化、物理的地形プロセスを加味して解明しようというのが目的である。

これまでの研究から、円錐カルストの斜面勾配は 30° 内外であることが知られているが、地形測量と構成物質の定量的計測を行うことによってより精密な斜面勾配と構成物質との対応関係が明らかとなり、石灰岩体で溶食作用が卓越する斜面は急傾斜、物理的地形プロセスが卓越する斜面は岩屑の性格によって 30° 内外の勾配になることが予想される。本研究によって、これまで石灰岩の地形形成で強調されてきた溶食に物理的地形プロセスによる地形形成が加えられ、カルスト地形形成のメカニズムがさらに深化される。また、沖縄島本部町の円錐カルストが発達する地域が国定公園に編入される予定になっており、本研究の成果は多くの方々に円錐カルストを楽しんでもらう材料になるものと期待される。

3. 研究の方法

中・古生代、第三紀、第四紀の石灰岩が分布する沖縄島、石垣島、宮古島の円錐カルストが形成されている地域において、空中写真・地形図・地形分類図の判読および現地調査によって円錐カルストの分布を明らかにする。1/2,500 都市計画図を用いて、等高線が閉じている最低部の等高線をトレースし、これを円錐カルスト底面の形態とみなし、長軸方向を計測する。代表的な円錐カルストを選定し、レーザー距離計を用いて円錐カルストの地形測量を行い、詳細な地形断面図を作成し、円錐カルストの斜面勾配を明らかにする。

ピナクルに形成されている割れ目の面の方向をコンパスを用いて計測する。また、それぞれの面に発達する割れ目の密度も計測する。割れ目の密度は、面の方向に折れ尺をあて、折れ尺を横切る割れ目（層理、節理、開いたものも含む）の数をカウントし、1m あたりの本数で求める。さらに、ピナクル周辺

に礫が確認される場合は、3~5個の礫について、長径、短径、中径を計測し、平均値を求める。

円錐カルスト構成物質はメジャーを用いてその構成岩石、径および形状を測定し、岩屑径、形状を定量的に明らかにする。石灰岩の溶解に関係する石灰岩の物性（空隙率）を石灰岩をサンプリングして実験室で試験を行うことによって求める。

円錐カルストの形成・発達プロセスを解明するために、円錐カルスト頂部での石灰岩の物理的風化・崩落の可能性を探る。そのため、ピナクル表面温度を連続して測定することによってピナクルの物理的風化・崩落の可能性を探る。岩石表面温度の測定は、条件の異なる6か所を選定して行う。温度測定には「おんどとり Jr.」を使用し、岩石表面部に直径約3mm、深さ1cm弱の穴をあけ、そこに温度センサーの先端部を埋め込み、シリコン樹脂で覆い、測定を行う。温度センサーをこのように設置した場合、センサーの示す温度とセンサー設置点のすぐわきの岩石表面温度にはほとんど差がないことを確認して、測定を行う。

石灰岩試料を用いて熱風化実験を行い、石灰岩の熱疲労特性を探る。試料は約3×3×6cmの角柱状に整形したものを扱い、110℃で24時間炉乾燥した後、重量と体積を測定して、乾燥密度を求め、ヒビやカケなどの状態の特徴を観察して記録する。体積の測定は、ノギスによる大きさの計測からの計算と、水を入れたメスシリンダーに浸して計測する2つの方法で行う。実験は、乾燥炉を用いて65℃~410℃の範囲（温度は乾燥炉の設定値）で加熱し、冷却は空冷と水冷の2つの条件で行う。加熱時間および冷却時間はすべての条件で統一し、2時間半加熱、30分冷却を1サイクルとし、それぞれ15サイクル（16サイクル目に加熱後に計測して終了）を行う。加熱温度は、65℃、110℃、210℃、410℃の4条件（水冷・空冷合わせて8つの条件）で、410℃のみ機械の温度設定上、別の乾燥炉を使用する。加熱後速やかに乾燥炉から試料を取り出し、表面温度と重量を計測後冷却する。水冷には蒸留水を使用し、水を張ったステンレス製の桶にステンレス製のザルに入れた試料を静

かに入れて行う。また、空冷にはデシケータを用いる。冷却した試料は表面温度を計測した後、再度乾燥炉に入れて加熱を行う。水冷の条件では、水冷開始時と水冷終了時の水温も計測し、また、室温の計測も適宜行う。

4. 研究成果

中・古生代の石灰岩からなる円錐カルストの比高は50m程、斜面形状は直線的であり、斜面勾配は30数度である。

ピナクルの割れ目の面の方向は、北、北西、東北東が卓越している。これに対し、円錐カルストの長軸方向は、東北東と西北西が卓越し、そのほかの方向も、ピナクルの割れ目の面の方向と同じ方向が存在している。しかし、ピナクルの面にみられる卓越方向である北は、円錐カルストの長軸方向にはみられない。地質図上では、調査地域内に14の断層が確認できたが、その卓越方向は西北西であり、それ以外にも北、北東、北西などの方向がみられる。西北西は、円錐カルストの長軸方向の卓越方向の一つであり、また、断層にみられる方向は、ピナクルの割れ目の面の方向でもみられる。ピナクルの割れ目の面の方向は、円錐カルストの長軸方向ではみられなかった北の方向がみられるのが特徴的である。

このように、ピナクルの割れ目の面の方向、円錐カルストの長軸方向、断層の方向には、共通する向きがあり、それぞれに関係していることがうかがえ、円錐カルストの地形形成への関与が示唆される。

ピナクルのタイプは平頂型、尖塔型、円頂型の3つに大別され、これらのタイプは円錐カルストの頂部標高によって異なり、平頂型は頂部標高が最も高い円錐カルストに形成され、標高が低くなるにつれて、尖塔型、円頂型になる傾向を示す。ピナクルの高さは、尖塔型が最も大きく、平頂型、円頂型の順に小さくなる傾向が認められる。ピナクルの高さは、尖塔型で最も大きく、平頂型、円頂型の順に小さくなる傾向が認められる。

第三紀の石灰岩からなる円錐カルストの比高は50m程、斜面形状は斜面の中腹に急傾斜をもつ形状となり、平均斜面勾配は、中・古生代の石灰岩からなる円錐カルストとほぼ同じ斜面勾配となる。

第四紀琉球石灰岩からなる宮古島には、島のほぼ全域にわたって円錐カルストの分布が確認できる。また、ほぼ東西方向に、断層を横切るように円錐カルストが点在している。第四紀琉球石灰岩からなる沖縄島中南部にも円錐カルストが分布するが、その数は宮古島と比較すると少ない。宮古島の円錐カルストの斜面勾配は、沖縄島中南部の円錐カルストの斜面勾配より小さい。第四紀琉球石灰岩からなる円錐カルストの斜面勾配は、中・古生代石灰岩からなる沖縄島本部山里の円錐カルストと比較して小さく、また、頂点標高も低いという特徴がみられる。このことには、石灰岩の間隙率が関係していると思われる。

本部山里の中・古生代の石灰岩からなる円錐カルスト頂部のピナクルの表面温度は、最高で55.1℃を記録し、日較差は最高で29.9℃であった。また、ピナクルの面する方位によって、最高温度や、それに達する時間が異なっており、西向きの面が最も高温であった。観測結果は、従来の研究と比較しても、高い値であった。雨による急激な温度変化も観察され、最大で2分間で-1.5℃の温度変化があり、この値は、晴天時の日中の温度上昇や日没後の温度低下の変化と比較しても最大であった。風化実験では、65℃~210℃の加熱—冷却では、水冷、空冷ともにほとんど変化は見られず、410℃の空冷実験でも変化は見られなかった。しかし、410℃の水冷実験は、結晶粒界が鮮明になったり、潜在的弱線と思われる場所からの破壊（破壊音とともに）が何度か起こったりした。山焼きや山火事で熱せられた岩石が、降雨による冷却で破壊する可能性が示唆される。このような温度変化は、石灰岩の熱風化を考える材料となるものと思われる。

これらの成果は、これまでの研究に新しい知見を加えることとなり、カルスト地形研究を深化させることにつながったと考える。今後このような研究が他地域でも進められると、円錐カルストの形成メカニズムがより深化されるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 廣瀬 孝・玉城玲奈 (2011) : 沖縄島本部山里の円錐カルストを構成する石灰岩の表面温度観測と熱風化実験、沖縄地理、第11号、21-32。(査読有)
- ② 宮里政史・青木 久・前門 晃 (2009) : 沖縄島本部半島山里地域における円錐カルスト頂部に発達するピナクルの地形的特徴、沖縄地理、第9号、55-58。(査読有)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前門 晃 (MAEKADO AKIRA)
琉球大学・法文学部・教授
研究者番号 : 60190287

(2) 研究分担者

廣瀬 孝 (HIROSE TAKASHI)
琉球大学・法文学部・准教授
研究者番号 : 40305181

青木 久 (AOKI HISASHI)

大東文化大学・経営学部・准教授
研究者番号 : 30423742

(3) 連携研究者

松倉 公憲 (MATSUKURA YUKINORI)
筑波大学・生命環境科学研究科・教授
研究者番号 : 80107341