琉球大学学術リポジトリ

[研究ノート]
沖縄の第四紀琉球石灰岩に分布する円錐カルストに関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 沖縄地理学会 公開日: 2018-11-16 キーワード (Ja): 円錐カルスト, 第四紀琉球石灰岩, 斜面勾配, 沖縄島, 宮古島, Cone karst キーワード (En): Quaternary Ryukyu Limestone, slope angle, Okinawa Island, Miyako Island 作成者: 廣瀬, 孝, 松倉, 公憲, 青木, 久, 寒川, 拓磨, 前門, 晃 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002017692

沖縄地理　第 12 号
25-32 頁　（2012）

Okinawa Journal of Geographical Studies
No.12, p.25-32　（2012）

沖縄の第四紀琉球石灰岩に分布する円錐カルストに関する研究

廣瀬　孝[*]・寒川拓磨[**]・青木　久[***]・松倉公憲[****]・前門　晃[*]
（[*] 琉球大学法文学部人間科学科・[**] トップツアー株式会社・[***] 大東文化大学経営学部・
[****] 筑波大学名誉教授）

A Study of Cone Karsts Developed on Quaternary Ryukyu Limestone in Okinawa

Takashi HIROSE[*], Takuma KANGAWA[**], Hisashi AOKI[***], Yukinori MATSUKURA[****] and Akira MAEKADO[*]
([*]Faculty of Law and Letters, University of the Ryukyus, [**]Top tour Corporation, [***]Faculty of Business Administration, Daito Bunka University, [****]Emeritus Professor, University of Tsukuba)

摘　要

本研究では，第四紀琉球石灰岩地域に発達する円錐カルストに着目し，現地写真測量により，その形態の調査を行い，従来から円錐カルストの発達が知られている本部山里の円錐カルストの形態との比較を行った．その結果，中古生代の石灰岩地域である沖縄島本部山里に発達する円錐カルストに比較して，第四紀琉球石灰岩地域の円錐カルストは，斜面勾配が小さく，頂点標高も低いという特徴がみられた．

キーワード：円錐カルスト，第四紀琉球石灰岩，斜面勾配，沖縄島，宮古島
Key Words: Cone karst, Quaternary Ryukyu limestone, slope angle, Okinawa Island, Miyako Island

Ⅰ　はじめに

亜熱帯気候下の琉球列島には，温帯地域に属する日本本土にはみられない地形が分布し，石灰岩が溶けて形成されたカルスト地形にも特徴的な地形がみられる．日本本土において，山口県の秋吉台や福岡県の平尾台といった代表的なカルスト地域では，カルスト台地が形成されている．一方，沖縄では円錐カルストがみられる小起伏の丘陵地形が発達している（たとえば，目崎 1984；河名 1988）．円錐カルストとは，石灰岩が溶けて形成された孤立丘（すなわち山）であり，日本では，琉球列島でしかみられない．沖縄島本部山里地域周辺には，中古生代石灰岩が分布し，そこには多くの円錐カルストがみられ，その分布や形成について研究がなされてきた．目崎（1984）は，山里地域の中古生代石灰岩を対象に，地形図と現地測量を通して円錐カルストの斜面形成について研究している．すなわち，地形図による形状分析を行い，孤立丘の頂部高度分布の特徴と平均勾配を明らかにし，また，現地測量によって，急な斜面部と緩やかな斜面部の差異を明らかにしている．荒川・三浦（1990）は，コックピット・カルストと溶食の集中によって円錐カルストの形成を説明している．また，宮里ほか（2009）は本部の円錐カルスト頂部に発達するピナクルの地形的特徴について明らかにした．

沖縄には，中古生代の石灰岩に加え，琉球列島独特の琉球石灰岩と呼ばれる第四紀石灰岩が広く分布している．琉球石灰岩の地域を観察すると，たとえば図 1 のように，円錐カルスト（孤立丘）が形成されている．琉球石灰岩地域における円錐カルストの存在は，目崎（1988：112）や前門（1990）でも報告されている．このように，第四紀琉球石灰岩地域における円錐カルストについては，その存在は認められているが，詳細な研究はなされて

図 1　琉球石灰岩地域にみられる円錐カルストの一例
（宮古島；孤立丘 No. 2）

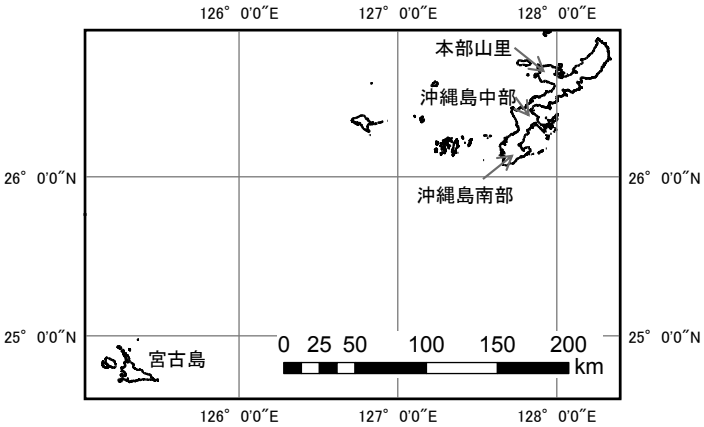

図 2　調査地域の位置

いない．そこで本研究では，第四紀琉球石灰岩地域に発達する孤立丘（円錐カルスト）に着目し，その形態の特徴を明らかにすることを目的とする．さらに，沖縄島本部山里の古い石灰岩地域の円錐カルストと比較することにより，第四紀琉球石灰岩と中古生代石灰岩に発達する円錐カルストにどのような違いがあるのかを考察する．

Ⅱ　研究対象地域の概要

本研究では，第四紀琉球石灰岩が広く分布し，円錐カルストとみられる孤立丘が分布する地域として，宮古島と沖縄島中部および南部を研究対象地域とした．また，中古生代石灰岩が分布し，多数の円錐カルストが分布している沖縄島本部山里を比較対象地域とした（図 2）．

宮古島の地質は，ほぼ島全域が第四紀琉球石灰岩で構成されており，多くの石灰岩堤が分布している．沖縄島中部および南部地域にも，日本本土ではみることのできない第四紀石灰岩が広く分布している．また，本研究においては，琉球石灰岩の細分は行わず，すべて一括して琉球石灰岩地域とした．なお，米軍施設内に点在している円錐カルストは調査対象からは除外した．

沖縄島本部半島には，中古生代の石灰岩が分布しており，特に山里一帯には多くの円錐カルストが分布している．沖縄島本部山里地域を研究対象とした目崎（1984）によると，山里一帯の円錐カルストの斜面勾配は平均 25 ～ 30 度程度である．

Ⅲ　調査方法

はじめに，選定した調査地域（宮古島地域，沖縄島中部および南部地域，沖縄島本部山里地域）において，1/25,000 地形図, 地形分類図（国土調査），現地調査によって，円錐カルストの分布を把握し，分布図を作成した．作成方法は，第四紀琉球石灰岩地域においては，初めに，地形分類図で石灰岩堤（limestone wall and mound）に分類されている場所と 1/25,000 地形図の等高線を照合して円錐カルストをピックアップした．円錐カルストを把握する際には，等高線が完全に閉じた孤立丘を選定し，これらを円錐カルストとみなし，地形図上に落としていった．さらに，現地調査を行い，1/25,000 地形図では把握しきれなかった孤立丘，または，記載されていない孤立丘を把握し，地形図上に加筆した．これらを通して円錐カルストの分布を把握し，それぞれの地域における円錐カルストの分布図を作成した．

また，沖縄島本部山里地域に関しては，目崎（1984）の地形計測を参照し, 1/2,500 都市計画図（等高線間隔 2 m の地形図）で再調査を行った．その結果，目崎（1984）の認めた 23 の円錐丘の内，22 の円錐丘を確認した．

第四紀琉球石灰岩地域の円錐カルストの形態については，作成した円錐カルストの分布図をもとに，現地での写真測量によって，円錐カルストの断面形態を把握した．現地では，円錐カルストの写真を撮影（水準器を付けたカメラと三脚・一脚を用いて，水平出しをして撮影した）し，さらに，

表 1　沖縄島本部山里地域における円錐カルスト（孤立丘）の形態

孤立丘 No.	頂点標高 (m)	基底等高線標高 (m)	比 高 (m)	長軸長 (m)	短軸長 (m)	斜面勾配 (度)
1	156.2	114	42.2	175.0	135.0	28.6
2	201.4	190	11.4	122.5	62.5	13.8
3	173.0	140	33.0	105.0	102.5	32.5
4	152.8	140	12.8	75.0	45.0	23.1
5	142.6	122	20.6	95.0	70.0	26.5
6	209.8	198	11.8	77.5	32.5	23.2
7	237.0	198	39.0	237.5	162.5	21.3
8	252.1	204	48.1	282.5	140.0	24.5
9	221.2	204	17.2	112.5	67.5	20.9
10	216.9	192	24.9	97.5	85.0	28.6
11	227.4	210	17.4	92.5	60.0	24.5
12	220.4	210	10.4	60.0	35.0	23.6
13	212.5	196	16.5	70.0	57.5	27.4
14	194.6	180	14.6	87.5	35.0	25.5
15	202.0	178	24.0	172.5	57.5	22.7
16	218.8	208	10.8	90.0	37.5	18.7
17	224.6	208	16.6	70.0	42.5	30.6
18	237.6	226	11.6	62.5	60.0	20.7
19	232.1	212	20.1	67.5	42.5	36.2
20	194.6	180	14.6	57.5	32.5	33.0
21	222.9	206	16.9	77.5	45.0	28.9
22	167.2	152	15.2	67.5	57.5	25.9

レーザー距離計を用いて比高を測定した．比高については，レーザー距離計の値と 1/25,000 地形図から読み取った値に，大幅な差異はみられなかった．撮影した写真は，方眼のトレーシングペーパーを用いてトレースし，底部の勾配の急変点を基底とみなし，現地で測定した比高をもとにして，基底長を求めた．さらに，求めた比高データと基底長データを用いて，斜面の平均勾配を計算した．

沖縄島本部地域の調査方法に関しては，上記の 22 の円錐カルストを対象に，次のように地図上で計測した．まず，それぞれの円錐カルストについて，1/2,500 都市計画図で，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た．その長軸長および短軸長を計測し，次に頂点標高と基底等高線をもとに比高を算出した．さらに，比高および長軸長と短軸長の平均から斜面の平均勾配を計算した．

Ⅳ　調査結果

沖縄島本部山里における，円錐カルストの形態を表 1 にまとめた．円錐カルストの頂点標高は，最大で 252 m，最小で 142 m であった．図上作業から求めた基底長（ここでは長軸長を基底長とした）は，最大で 282 m，最小で 60 m であり，平均すると 107 m であった．また，比高は最大で 48.1 m で，最小で 10.8 m であり，平均では 20.4 m となった．長軸と短軸の平均長さと比高から求めた斜面の平均勾配は，最大は 36.2 度で，最小は 13.8 度であり，平均では 25.5 度であった．

宮古島地域には，非常に多くの円錐カルスト（孤立丘）が確認されたが，その内の 24 個の孤立丘（円錐カルスト）で写真測量による形態の調査を行った（3 つの円錐カルストについては，2 方向から行った）．表 2 は調査結果をまとめたものであるが，前掲図 1 のように，比高が高く左右対称な形状をしたものもあれば（No. 2），比高が低く平坦な円錐カルスト（図 3，No. 19）もある．宮古島は平坦な島（いわゆる低島）であるため，頂点標高は，最大でも 91 m で，最小は 7 m であった．また，基底長は最大で 255 m，最小で 28 m であり，平均すると 126.5 m で，本部山里よりも若干長いという結果が得られた．比高は最大で 26 m，最小で 2.4 m であり，平均では 13.2 m であった．斜面勾配は最大で 25.7 度，最小で 6.7 度であり，平均では 12.9 度で，山里と比較するとその値は小さかった．

表 2　宮古島地域における円錐カルスト（孤立丘）の形態

孤立丘 No.	頂点標高 (m)	基底長 (m)	比 高 (m)	斜面勾配 (度)
1-1	62.0	175.3	21.4	13.7
1-2	62.0	159.3	24.7	17.2
2-1	68.8	190.6	21.0	12.4
2-2	68.8	108.0	26.0	25.7
3	40.0	146.3	12.0	9.3
4-1	72.0	62.0	10.6	18.8
4-2	72.0	78.2	13.7	19.3
5	89.0	238.0	11.0	5.3
6	74.0	64.4	8.1	14.0
7	72.0	75.9	15.0	21.5
8	83.0	104.1	14.0	15.1
9	78.0	255.1	24.1	10.7
10	78.0	85.1	12.3	16.1
11	81.0	107.1	14.3	15.0
12	91.0	124.1	7.8	7.1
13	82.0	43.1	5.5	14.2
14	91.0	174.0	11.3	7.4
15	66.6	158.0	9.3	6.7
16	60.0	102.6	15.1	16.4
17	21.0	106.3	13.0	13.7
18	14.3	197.4	13.0	7.5
19	13.0	81.7	7.3	10.2
20	23.0	236.7	15.6	7.5
21	8.0	49.0	6.0	13.8
22	7.0	28.0	2.4	9.8
23	21.0	90.4	10.3	12.8
24	11.0	173.8	12.7	8.3

1-1 と 1-2 は，孤立丘 No. 1 の 2 方向のプロファイルである．

表 3　沖縄島中部地域における円錐カルスト（孤立丘）の形態

孤立丘 No.	頂点標高 (m)	基底長 (m)	比高 (m)	斜面勾配 (度)
1	77.0	146.2	23.8	18.0
2	78.0	150.5	27.5	20.1
3	84.0	139.1	21.8	17.4
4	86.5	111.5	20.0	19.7

表 4　沖縄島南部地域における円錐カルスト（孤立丘）の形態

孤立丘 No.	頂点標高 (m)	基底長 (m)	比 高 (m)	斜面勾配 (度)
1	88.0	85.0	13.9	18.1
2	82.0	68.9	14.2	22.3
3	82.0	85.7	13.3	17.3
4	96.0	192.2	25.6	14.9
5	154.0	113.1	24.0	23.0
6	153.0	170.0	26.0	17.0
7	187.0	150.0	31.2	22.6

図 3　宮古島における円錐カルストの一例
（孤立丘 No.19）

図 4　沖縄島中部地域における円錐カルストの一例
（孤立丘 No.1）

図 5　沖縄島南部地域における円錐カルストの一例
（孤立丘 No.2）

沖縄島中南部に分布する円錐カルストの内，写真測量を行った円錐カルストは，沖縄島中部地域においては 4 つ，沖縄島南部地域においては 7 つの合計 11 であった．数が少ないのは，ほかの地域と比べて円錐カルストの数が少ないこともあるが，沖縄島中南部地域は，同じ第四紀琉球石灰岩の宮古島地域と比べると，人為的な改変が進行していて，円錐カルストのすぐ近くや，場所によっては円錐カルスト上に建物や道路が形成されており，写真判読によって形態調査を行うことができる円錐カルストの数が少なかったためである．沖縄島中部地域の結果を表 3 に，南部地域の結果を表 4 に示した．また，中部地域の円錐カルストの一つ（No. 1）の様子を図 4 に, 南部地域の一つの例（No. 2）を図 5 に示した．

結果を本部地域や宮古島地域と同様にみていくと，沖縄島中部地域の円錐カルストの頂点標高は最大で 86.5 m, 最小で 77 m であった．また, 基底長は, 最大で 150.5 m, 最小で 111.5 m, 平均で 136.8 m であり, 比高は，最大で 27.5 m，最小で 20 m，平均で 21.2 m であった．孤立丘ごとの平均斜面勾配は，最大で 20.1 度，最小で 17.4 度，平均は 18.8 度であった．沖縄島南部地域についてみると，頂点標高は最大で 187 m，最小で 82 m であった．また，基底長は，最大で 192 m，最小で 69 m，平均で 123.6 m であり，比高は，最大で 31.2 m, 最小で 13.3 m, 平均で 23.3 m であった．孤立丘ごとの平均斜面勾配は，最大で 23 度，最小で 14.9 度であり，平均は 19.3 度であった．

V　円錐カルストの形態に関する考察

本章では，4 つの地域で得られた結果を比較することにより，形成年代の異なる石灰岩からなる円錐カルストについて，その形態の特徴を考察する．円錐カルストの形態としては，特に斜面勾配に着

表 5　4 地域における円錐カルストの形態に関するまとめ

	頂点標高 (m)	基底長 (m)	比 高 (m)	斜面勾配 (度)
本部地域	205.4	107.0	20.4	25.5
沖縄島中部地域	81.4	136.8	21.2	18.8
沖縄島南部地域	120.3	123.6	23.3	19.3
宮古島地域	55.9	126.5	13.2	12.9

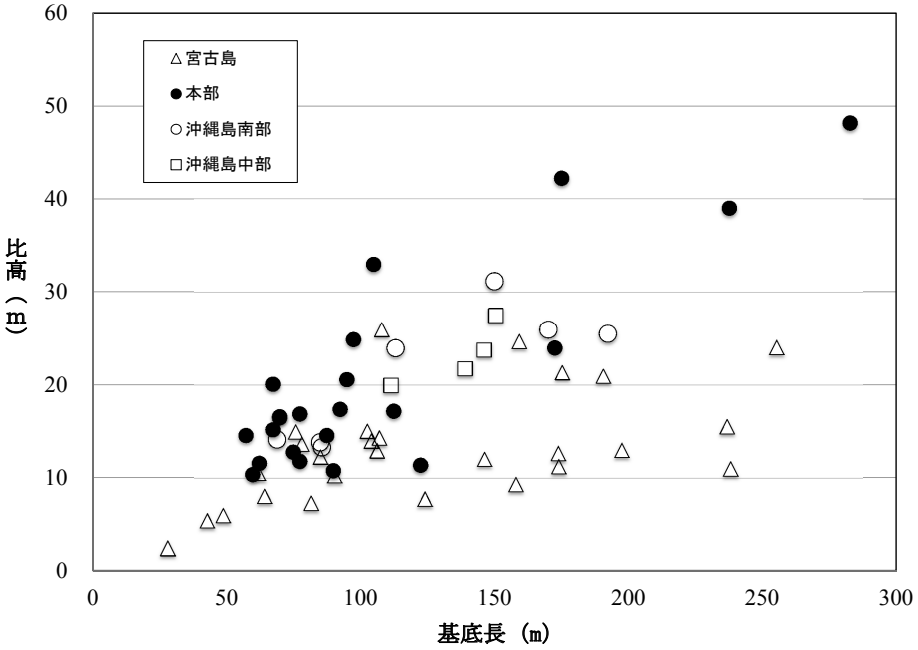

図 6　円錐カルストの基底長と比高との関係

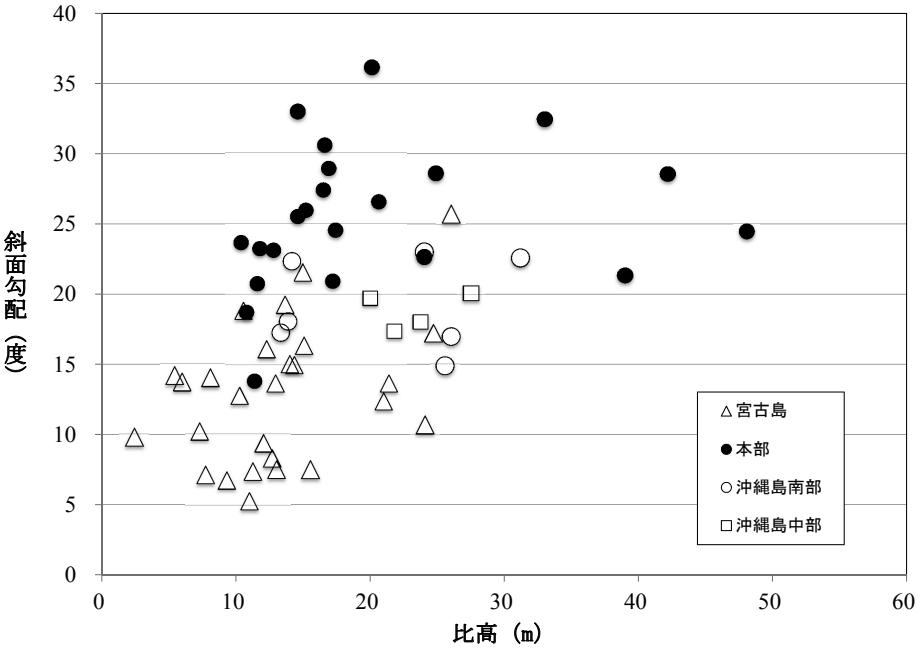

図 7　円錐カルストの比高と勾配との関係

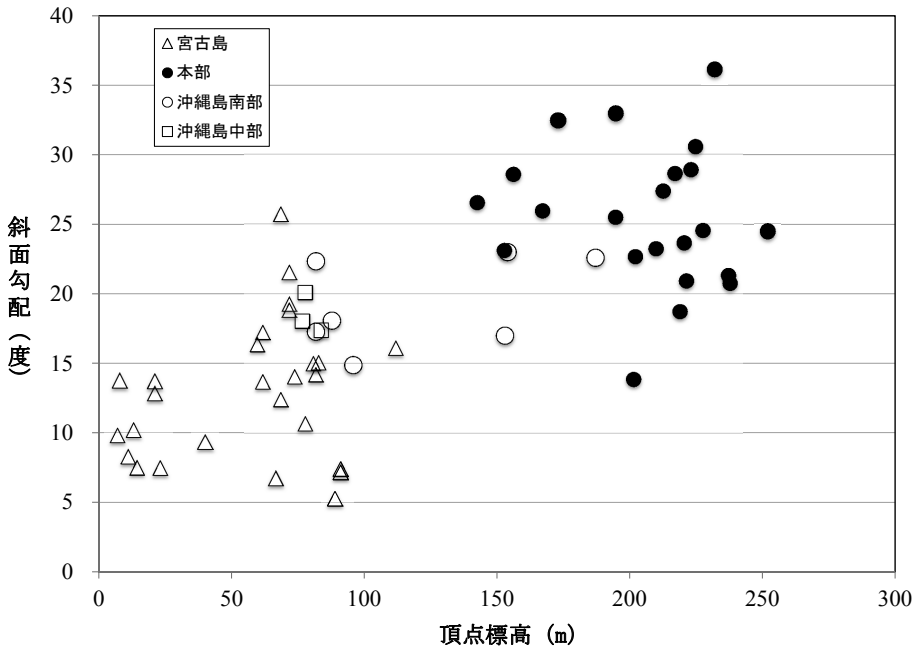

図 8　円錐カルストの頂点標高と勾配との関係

目して考察することにする．

表 5 は，地形図上の作業による円錐カルストの形態を求めた中古生代の古い石灰岩からなる円錐カルストが分布する沖縄島本部地域，現地での写真測量によって形態を求めた新しい第四紀琉球石灰岩が分布する宮古島地域，沖縄島中部地域，沖縄島南部地域について，調査を行った円錐カルストの形態の平均値をまとめたものである．これをみると，地域によって斜面勾配が異なり，本部地域では斜面勾配が大きく，宮古島地域では小さく，沖縄島中南部地域では，その中間であった．

さらに詳細に考察するため，基底長と比高，比高と勾配，頂点標高と勾配との関係を図 6 ～ 8 に示した．基底長と比高との関係を示した図 6 をみると，地域的に大きな差異は認められず，全体として右上がりの傾向，すなわち，基底長が長くなれば，比高も大きくなる傾向がみて取れる．前述のように，斜面勾配は様々な値をとるため，点のバラつきは大きい．特に，基底長や比高が大きくなるほど，すなわち，円錐カルストの規模が大きくなるほどバラつきが大きくなっているようにみえる．比高と勾配との関係（図 7）は，地域別にみても，全体でみても，関係性は認められない．

最後に，頂点標高と勾配の関係（図 8）をみると，頂点標高，勾配ともに，地域差が認められる．本部地域は頂点標高，勾配ともに大きく，宮古島では両者とも小さい．沖縄島中部と沖縄島南部地域は，その中間にプロットされている．したがって，中古生代の古い石灰岩地域に形成されている円錐カルストに比べて，第四紀琉球石灰岩地域の円錐カルストの方が勾配が小さいという特徴がある．また，バラつきはあるものの全体としても頂点標高が高いほうが勾配が大きくなっている．

円錐カルストの地形形成を明らかにするためには，初期地形，石灰岩の物性，溶解時間（地形形成時間），溶解に及ぼす環境要素，などの全てを総合的にみる必要があるが，この中から石灰岩の物性の違いから，第四紀琉球石灰岩地域に発達する円錐カルストの方が勾配が小さい理由を考察してみる．本部地域の古い石灰岩は緻密であり，岩石そのものの透水性は非常に小さいのに対して，琉球石灰岩は間隙が多く，透水性も高い．石灰岩が溶解するためには，水が必要であるが，古い石灰岩では，初めに水が集中して溶けて低下したところには，さらに水が集中するようになって溶解が促進されるのに対し，溶け残った方の高まりの岩

石にはあまり水がいかないため溶解の進行が遅く，両者の差が大きくなり，勾配が大きくなる．一方，岩石そのものの透水性が高い琉球石灰岩では，岩石中の間隙にも水が入っていくため，高まりの部分が水と接触する機会が多くなり，古い石灰岩と比較して高まりの溶解も速い．そのために，古い石灰岩に発達する円錐カルストに比べると斜面勾配が大きくならない．透水性の違いが，どの程度斜面勾配の差異に寄与しているのかはわからないが，このような解釈も可能であろう．

Ⅵ　まとめ

本研究で得られた結果は以下のようである．

1）第四紀琉球石灰岩の分布する地域にも，多数の円錐カルスト（円錐丘）が分布している．

2）中古生代の石灰岩地域である沖縄島本部山里に発達する円錐カルストに比較して，第四紀琉球石灰岩地域の円錐カルストは，斜面勾配が小さく，頂点標高も低いという特徴がみられた．

本研究を進めるにあたり，琉球大学法文学部地理学教室の先生方には貴重なアドバイスをいただきました．琉球大学大学院人文社会科学研究科の砂川朋美さん，地理学教室の4年次の学生の皆様には現地調査に協力して頂きました．以上の方々に心から感謝いたします．本研究は著者の一人の寒川が行った卒業論文を骨子に加筆・修正したものである．なお，本研究の一部には日本学術振興会・科学研究費（基盤研究C：21501002，研究代表者・前門　晃）を使用した．

（受付　2012年3月10日）

（受理　2012年6月21日）

文　献

荒川達彦・三浦　肇（1990）：溶かされたサンゴ礁　―カルスト地形―．サンゴ礁地域研究グループ編：『熱い自然―サンゴ礁の環境誌―』，古今書院，215-229.

河名俊男（1988）：『琉球列島の地形』新星図書出版.

前門　晃（1990）：けずられてできた熱帯地形　―円錐丘の語るもの―．サンゴ礁地域研究グループ編：『熱い自然―サンゴ礁の環境誌―』，古今書院，230-240.

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，9，55-58.

目崎茂和（1984）：日本の主要カルストの地形形成について．琉球大学法文学部紀要　史学・地理学篇，27・28合併号，139-169.

目崎茂和（1988）：『南島の地形　―沖縄の風景を読む―』沖縄出版.