

# 琉球大学学術リポジトリ

[論説]

秋吉台における地形面とリレンカレンの形状に関する一考察

メタデータ	言語: 出版者: 沖縄地理学会 公開日: 2020-03-10 キーワード (Ja): リレンカレン, カルスト, 野外計測, 室内実験, 秋吉台, rillenkarrren キーワード (En): karst, field measurement, laboratory experiment, Akiyoshi-dai Plateau 作成者: 羽田, 麻美 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002017761">http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002017761</a>

## 秋吉台における地形面とリレンカレンの形状に関する一考察

羽田麻美

(琉球大学国際地域創造学部)

### Relationship between Geomorphic Surface and Rillenkarren Morphology in Akiyoshi-dai Plateau

HADA Asami

(Faculty of Global and Regional Studies, University of the Ryukyus)

#### 摘要

本研究では、秋吉台の (a) 地獄台面 (b) 真名ヶ岳面, (c) 若竹原面という3つの地形面におけるリレンカレンを対象にして、地形面毎の形状計測と既存の室内実験の結果から、発達段階の地域差に関する考察を試みた。その結果、若竹原面<真名ヶ岳面<地獄台面という地形面が高い(古い)順に、リレンカレンの幅と深さが大きいこと、リレンカレンの凹凸の程度を示す深さ/幅は、地獄台面において最も大きいことがわかった。すなわち、秋吉台におけるリレンカレンは、若竹原面・真名ヶ岳面よりも地獄台面において相対的に発達が進んでいる状態であることを示す。

**キーワード:** リレンカレン, カルスト, 野外計測, 室内実験, 秋吉台

**Keywords:** rillenkarren, karst, field measurement, laboratory experiment, Akiyoshi-dai Plateau

#### I はじめに

炭酸塩岩の表面に形成される溝状の溶食凹地形をリレンカレンとよぶ(図1)。リレンカレンは、降雨が炭酸塩岩表面を流れる際に形成される流路状の形態をなすが、その横断面形は、鋭利な稜線と円形の底部を持つ。水が流下する方向に沿って、溝が平行に複数形成される。その大きさは、Jennings (1971) によると幅2~4 cm, 深さ1~2 cm, Sweeting (1972) では幅1~2 cm, 深さ1~2 cm, 長さは通常50 cm以下, Ford and Williams (2007) では幅1.0~2.5 cm, 長さは30 cm以下と定義されている。

リレンカレンの形状とそれを規定する要因につ

いての研究史は、松倉(2008)によりまとめられている。リレンカレンの長さや岩石表面の斜面勾配の関係に着目した研究(例えばDunkerley 1979)や、形状と岩質の関係性を調べた研究(例えばMottershead *et al.* 2000)、気候環境の異なる地域間の形状比較に関する研究(羽田 2007)など、世界各地で野外計測がおこなわれてきた。一方で、野外計測では現在の形状の把握に留まり、リレンカレンの時間的な変化を明らかにすることは難しい。そこで、石膏を用いた室内実験をもとに人工的にリレンカレンを形成させ、発達過程を把握する研究が実施された(例えばGlew and Ford 1980や羽田 2008, 2010)。羽田(2008)は、野外のピナクルに模した石膏ブロックに水道水を1,000時間散水し、



図1 リレンカレン  
地獄台にて2008年3月筆者撮影  
図中の折れ尺の長さが20cm

時間経過とともに発達するリレンカレンの形状を計測した。その結果、 $45^\circ$ の一様勾配斜面上に形成されるリレンカレンは、時間経過とともに下方へと長さを増しながら幅と深さを増していくこと、形成初期に幅を急速に拡大しその後深さが増していくことが明らかとなった。これらの実験結果を用いて、野外のある同一地域内におけるリレンカレンの計測結果を解釈すれば、相対的な発達段階の違いを推定できる可能性がある。

そこで本研究では、山口県秋吉台のカルスト台地を対象に、気候環境やピナクルの斜面勾配などのリレンカレンの形成条件が同一の地域において、時代が異なると考えられている地形面毎にリレンカレンの形状を計測し、発達段階に違いがみられるのかを検討することを目的とする。具体的には、地形面の違いをリレンカレンの形成時間の相対的な違いに置き換え、地形面毎のピナクルの高さやリレンカレンの形状を比較し、相対的な発達段階の差異を明らかにする。

## II. 調査地域の概要

調査対象地域の山口県秋吉台には、面積約  $130 \text{ km}^2$  の石灰岩地域が広がり、ドリーネやウバーレが卓越する湿潤温帯型のカルスト台地が分布する。地表面にはピナクルが多く露出し、カレンフェルトが広がる。地質は古生代石炭期前期からペルム紀後期の化石を多く含む石灰岩からなる。カルスト台地に位置する秋吉台科学博物館（標高  $240 \text{ m}$ ）

のアメダスの気象観測データを見ると、1979～2003年の年平均降水量は  $2019.0 \text{ mm}$ 、年平均気温  $13.9^\circ\text{C}$ 、最暖月の平均気温  $29.5^\circ\text{C}$ 、最寒月の平均気温  $-1.1^\circ\text{C}$  である。

調査対象地域の選定は、次のようにおこなった。まず秋吉台において、ピナクルが密に露出している地域を空中写真から選び出し、その後、該地域における現地観察に基づき、リレンカレンが面的に広く発達する地域を選び出した。ピナクルが密に露出しているにもかかわらず、リレンカレンの発達が一部のピナクルに限られる地域は除外した。また選定にあたっては、地形面の違いも考慮に入れた。その結果、条件に該当する (a) 地獄台、(b) 県営牧場、(c) 若竹山の3地域を選んだ（図2）。調査地の標高は、地獄台が約  $380 \text{ m}$ 、県営牧場が約  $320 \text{ m}$ 、若竹山が約  $240 \text{ m}$  である。

図3には、配川（1994）によって、河野（1980）や三浦（1985）による地形分類を総括してまとめられた秋吉台の地形面区分図上に、本調査地域を示した。これによれば、本調査地域である (a) 地獄台は「地獄台面」、(b) 県営牧場は「真名ヶ岳面」、(c) 若竹山は「若竹原面」に相当し、地獄台ほど高位に位置するため、年代が古いと考えられる。三浦（1985）では、地獄台面の形成期は鮮新世後期、真名ヶ岳面は鮮新世末～更新世前期前半と述べられているが、年代を決定する資料は乏しい。本研究では、3地域をそれぞれの地形面の代表として捉え、以下 (a) 地獄台面（地獄台）、(b) 真名ヶ岳面（県営牧場）、(c) 若竹原面（若竹山）と記述する。

## III. 研究方法

### 1. 野外における計測方法

3つの調査地において計測対象としたリレンカレンは、i) 降雨の際、流水がみられるリレンカレンで、ピナクルの頂部から形成が始まっているもの、ii) 節理等の影響を受けていないもの、iii) ピナクルの面に、隣り合った5本以上のリレンカレンが形成されているもの（すなわち局所的な形態ではないもの）、iv) 連続した稜線と溝をもち稜線が明瞭であるもの、(v) リレンカレンの形成されている斜面勾配が  $40 \sim 50^\circ$  で、羽田（2008）の実験結果と対比可能なもの、を基準として選定した。



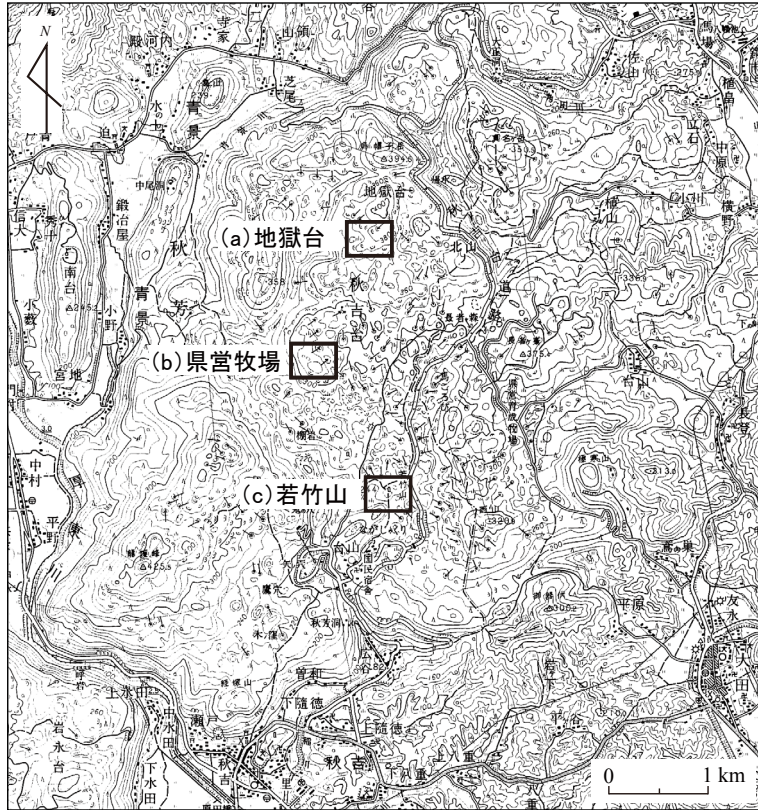


図2 調査地域周辺の地形  
 国土地理院発行の5万分の1地形図「山口」に本調査地域を加筆

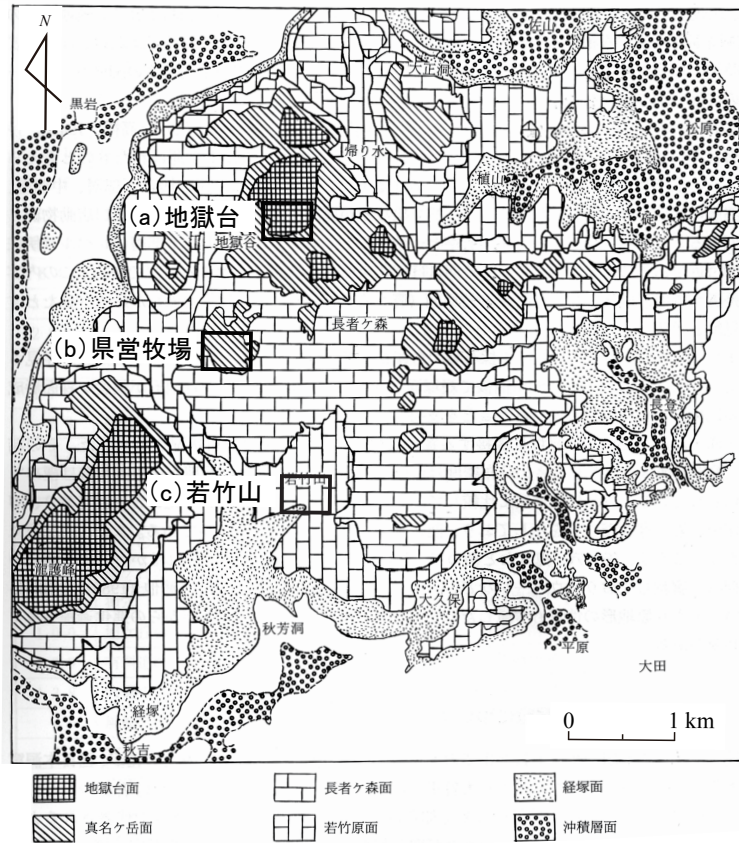


図3 秋吉台の地形面区分と本調査地域  
 配川（1994）による地形面区分図に、本調査地域を加筆

野外計測では、ピナクルの基部から頂部までの高さ、リレンカレンの形状（幅と深さ）を計測した。リレンカレンの幅と深さは、羽田（2007）に基づき、型取りゲージ（山野製作所製、計測可能範囲の長さ148 mm×奥行49 mm）を用いて測った。この型取りゲージは、直径0.8 mmの針185本で構成されており、計測したい物にこのゲージをあてることにより、その表面形状を把握することができる。リレンカレンの形状は、稜線の横断方向に型取りゲージをあて、方眼紙にその形をトレースし、トレースしたものを計測することで求めた。計測した形から、幅と深さを読み取った。幅は、相隣り合う稜線のピークとピークの距離を結んだ距離である。深さは、幅を計測した線から、最も深い場所の垂直深を計測した。また、リレンカレンの形成されている石灰岩の斜面勾配は、傾斜計（マルチレベル A-150、シンワ測定株式会社製）を用いて計測した。計測を行ったリレンカレン底部の値を、リレンカレンが形成されているピナクルの平均勾配とみなして計測した。本研究で計測に用いたピナクルの数は、(a) 地獄台面（地獄台）10個、(b) 真名ヶ岳面（県営牧場）10個、(c) 若竹原面（若竹山）8個である。

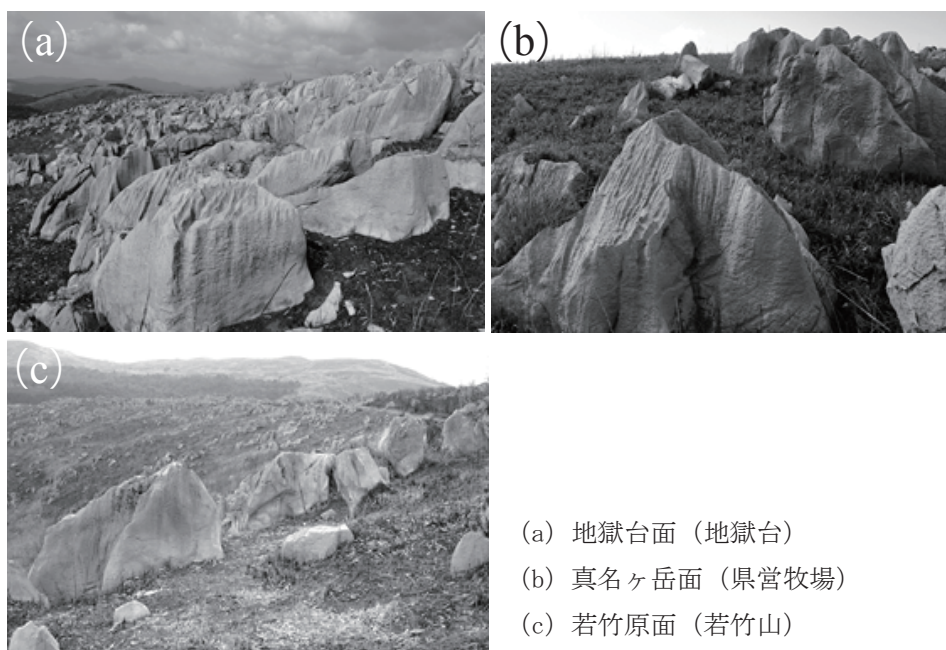
## 2. 室内実験で得られたデータと野外計測データとの比較

羽田（2008）の室内実験では、12 cmの斜面長をもつ45°の石膏ブロック上に、頂部から1 cm下に測線を置き（以下、1 cm測線とよぶ）、その場所での1,000時間の形状変化を写真計測した。石膏ブロックの1 cm測線の位置は、12 cmの斜面長を100%とした際に、斜面最上部からおよそ8%目の位置に相当する。野外計測では、ピナクル上において室内実験の1 cm測線の位置と同程度の位置でリレンカレンの形状を計測し、比較する必要があると考えた。そこで、野外においてリレンカレンが形成されているピナクルの斜面長を100%として、この斜面最上部から5～14%<sup>1)</sup>の範囲内で計測したデータを、室内実験の1 cm測線の形状値と比較した。5～14%と幅を持たせたのは、石灰岩表面上に化石による凹凸や微生物付着などで計測に不適な場合があるためである。

## IV. 結果と考察

### 1. 地形面毎のピナクルの高さとリレンカレンの長さ

図4は、3地域におけるカレンフェルト景観であ



(a) 地獄台面（地獄台）  
 (b) 真名ヶ岳面（県営牧場）  
 (c) 若竹原面（若竹山）

図4 調査地域におけるカレンフェルト景観

- (a) 地獄台面（地獄台），2008年3月筆者撮影  
 (b) 真名ヶ岳面（県営牧場），2008年5月筆者撮影  
 (c) 若竹原面（若竹山），2008年3月筆者撮影



表1 秋吉台の3地形面におけるピナクルの高さとリレンカレンの形状

地域	ピナクルの高さ (cm)	リレンカレンの形状		
		長さ (cm)	幅 (mm)	深さ (mm)
(a)地獄台面(地獄台)	110~250	40~110	24~69	3.5~17.5
(b)真名ヶ岳面(県営牧場)	110~200	40~70	22.5~47.5	3~11.5
(c)若竹原面(若竹山)	90~160	25~52	10~49	1~11

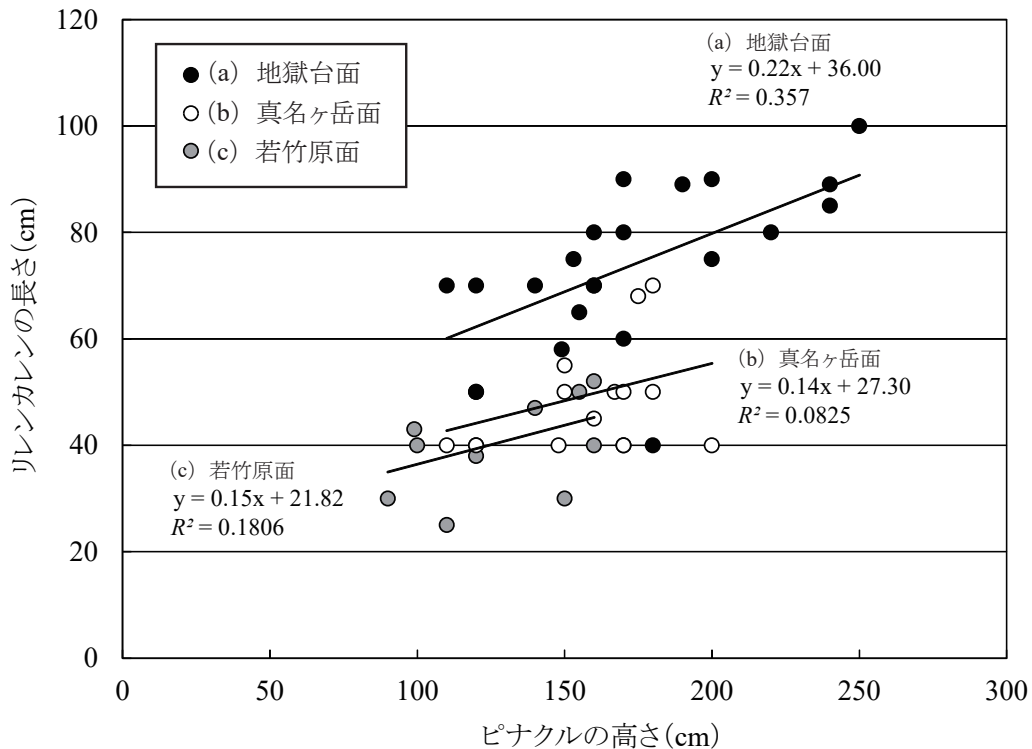


図5 秋吉台の3地形面におけるピナクルの高さとリレンカレンの長さ

る。(a) 地獄台面 (地獄台), は, 3 地域の中でも一番ピナクルが密度高く露出し, ピナクルの高さは 2 m を超えるものが林立する。(b) 真名ヶ岳面 (県営牧場) ではピナクルの高さは 2 m 以下のものが多く, (c) 地獄台面 (地獄台) に比べるとピナクルの密度は高くない。(c) 若竹原面 (若竹山) は, 3 地域の中では特にピナクルの密度が小さく, ピナクルの高さは 1.5 m 未満のものが多い。さらに, (c) 若竹原面 (若竹山) ではリレンカレンが密に形成されているピナクルが少ない。

(a) 地獄台面 (地獄台), (b) 真名ヶ岳面 (県営牧場), (c) 若竹原面 (若竹山) の 3 地域において, 調査結果を表 1 にまとめた。また, ピナクルの高

さとリレンカレンの長さとの関係を図 5 に示す。以下, 地形面の名称を用いて 3 地域の特徴をまとめる。ピナクルの高さは, 若竹原面では 90 ~ 160 cm の範囲に, 真名ヶ岳面では 110 ~ 200 cm, 地獄台では 110 ~ 250 cm の範囲にある。一方, リレンカレンの長さは, 若竹原面では 25 ~ 52 cm の範囲に, 真名ヶ岳面では 40 ~ 70 cm, 地獄台面では 40 ~ 100 cm の範囲にある。図 5 において両者の関係性をみると, ピナクルの高さが高くなるほどリレンカレンの長さは長くなる傾向がある。石膏ブロックによる室内実験では, 時間経過とともにリレンカレンの長さは長くなった。ピナクルの原型は土壤中で形成され, 土壌流出によりピナクルが地表

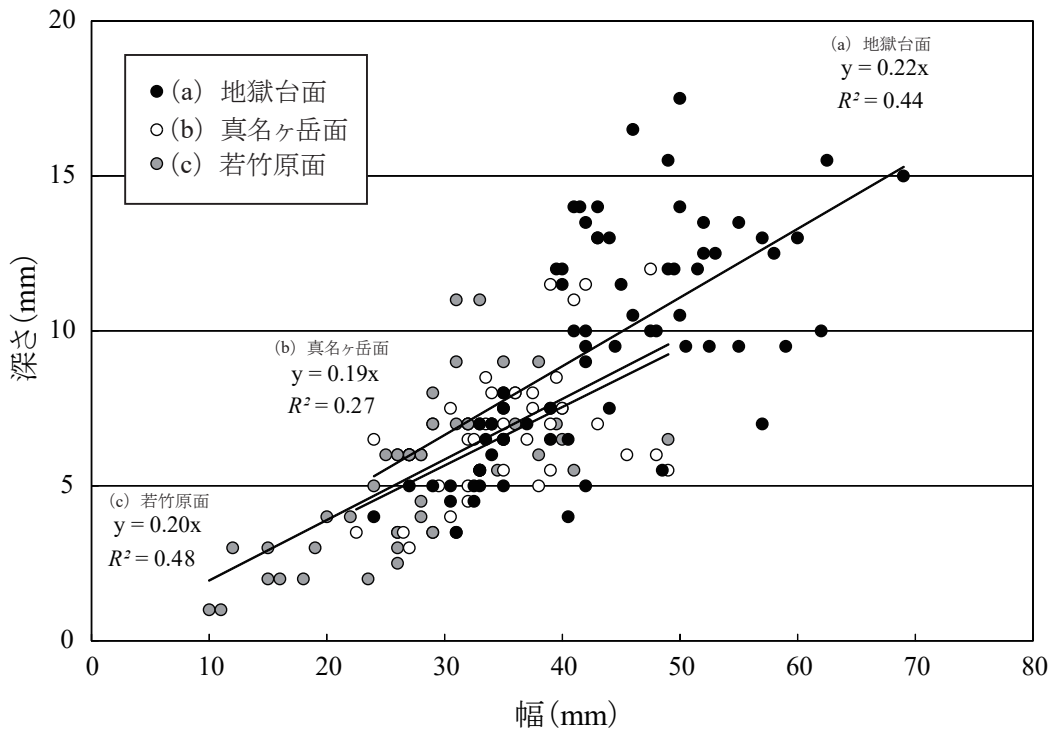


図6 秋吉台の3地形面におけるリレンカレンの幅と深さ  
(ピナクル斜面頂部から5～14%の範囲内を計測対象としたもの)

面に露出した後、リレンカレンが形成され始めるという考えに基づくと、若竹原面<真名ヶ岳面<地獄台面の順でピナクルが大きくリレンカレンが長いことは、ピナクルの露出時間（すなわちリレンカレンの形成時間）の長さに基づくものと考えられる。

## 2. 地形面毎のリレンカレンの幅と深さ

(a) 地獄台面（地獄台）、(b) 真名ヶ岳面（県営牧場）、(c) 若竹原面（若竹山）の3地域におけるリレンカレンの幅と深さを計測した結果、次のような特徴があることがわかった（図6）。

若竹原面では、幅が10～49 mm、深さは1～11 mmの範囲に、真名ヶ岳面では、幅が22.5～47.5 mm、深さは3～11.5 mmの範囲に、地獄台面は、幅が24～69 mm、深さは3.5～17.5 mmの範囲にある（表1）。3地域のリレンカレンの幅と深さを比較すると、幅の下限と深さの上限・下限が、若竹原面<真名ヶ岳面<地獄台面の順で、より大きい値をとっている。また、図6には、原点を通る直線で近似させた回帰式を示した。幅と深さの

どちらか一方が値を持たなければリレンカレンの形状をなさないため、それを考慮に入れたリレンカレンの形状値を示すために、原点を通る直線で近似させた。この回帰式の持つ傾きは、リレンカレンの幅に対する深さの割合（すなわち、リレンカレンの凹凸の程度）を示す。傾きが大きいほど、リレンカレンの横断面形は凹凸が大きく、傾きが小さいほど、横断面形はより平坦に近いことを示す。この傾きを比較すると、若竹原面では0.20、真名ヶ岳面では0.19、地獄台面では0.22であった。地形面が古いほど傾きが大きくなる関係性は読み取ることができなかったが、少なくとも、一番高位の地獄台面で最も傾きが大きく、凹凸の程度が大きいことは認められた。

## 3. 室内実験結果に基づく考察

羽田（2008）の石膏ブロックを用いた室内実験では、リレンカレンは時間経過とともに幅と深さの両方を増しながら成長していく。1,000時間の実験時間の中で、500時間を経過すると幅の成長が留まり、深さのみを増していく傾向があった。すな

わち、この実験結果に基づき本野外計測結果を考察すると、地獄台面と真名ヶ岳面・若竹原面におけるリレンカレンの幅と深さの違いは、リレンカレンの発達段階の相対的な差異を表わしていると考えられる。若竹原面<真名ヶ岳面<地獄台面の順でリレンカレンの大きさが大きく、地獄台面で深さ／幅が最も大きいという地域差は、異なる発達段階のリレンカレンが地形面毎に分布していることを示唆する。地獄台面では形状の小さなリレンカレンも含まれるが、それは同一の地形面上においてピナクルが露出した時期は一様ではなく、ドリーネの形成などに伴い地形面の凹凸が作られていくとともに、ピナクルが段階的に地表に露出するパターンがあると考えられる。

## V. まとめ

本研究は、秋吉台における (a) 地獄台面 (b) 真名ヶ岳面、(c) 若竹原面という3つの地形面を対象にして、地形面毎のリレンカレンの形状差に関する考察を試みた。その結果、若竹原面<真名ヶ岳面<地獄台面という地形面が高い(古い)順に、リレンカレンの幅と深さが大きい傾向がみられた。また、リレンカレンの凹凸の程度を示す深さ／幅を比較すると、地獄台面において最も大きい値を示した。この結果を羽田(2008)による室内実験に基づき考察すると、リレンカレンは若竹原面・真名ヶ岳面よりも地獄台面において発達が進んでいることを示す。年代を調べる手法に乏しい石灰岩地域においても、リレンカレンの形状を指標として発達の度合いを比較すれば、溶食経過時間の相対的な差を明らかにすることは可能だと考える。今後の課題として、野外計測で用いたピナクルの40～50°斜面が、3地形面に分布するピナクルの中でどのような位置付けにあるのかを明らかにした上で、秋吉台の複数の地形面においてリレンカレンの形状を比較し、地形面毎の発達段階の差異を明らかにしていきたい。

野外計測および室内実験について多くのご指導を頂いた法政大学前教授の漆原和子先生に、ここに記して深く御礼を申し上げます。また、有益なご助言を下された査読者に感謝致します。

(受付 2019年4月30日)

(受理 2019年6月20日)

## 注

- 1) 実験では、石膏ブロックの2.5 cm 下にも測線を置き、形状値を計測した。石膏ブロックの2.5 cm 測線の位置は、12 cm の斜面長を100%とした際に、斜面最上部からおよそ21%目の位置に相当する。野外においても、ピナクルの斜面上部から15～25%の範囲内でリレンカレンを計測しており、この点については別稿に述べたい。

## 文献

- 河野通弘(1980): 秋吉台のカルスト地形と石灰洞. 河野通弘編:『秋吉台の鍾乳洞——石灰洞の科学——』帰水会, 25-40.
- 配川武彦(1994): 秋芳洞水系の発達史. 洞人, 10 (3), 71-101.
- 羽田麻美(2007): 日本とスロベニアにおけるリレンカレンの形態の差異. 地形, 28(1), 41-52.
- 羽田麻美(2008): 室内実験による石膏ブロック上のリレンカレンの形成過程. 地形, 29(3), 301-311.
- 羽田麻美(2010): リレンカレンの発達過程に及ぼす温度の影響——石膏ブロックを用いた室内実験——. 地形, 31(1), 1-15.
- 松倉公憲(2008): リレンカレンの形状とそれを規定する要因: 従来の研究のレビュー. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 9, 3-14.
- 三浦 肇(1985): 西秋吉台のカルスト地形——とくに侵食平坦面と凹地の分布特性について——. 山口ケイビング・クラブ:『西秋吉台の石灰洞 山口ケイビング・クラブ発足20周年記念・特集号』山口ケイビング・クラブ, 14-28.
- Dunkerley, D. L. (1979): The morphology and development of rillenkarrren. *Zeitschrift für Geomorphologie. N.F.*, 23, 332-348.
- Ford, D. and Williams, P. (2007): *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Hoboken.
- Glew, J. R. and Ford, D. C. (1980) A simulation study of the development of rillenkarrren. *Earth Surface Processes and Landforms*, 5, 25-36.
- Jennings, J. N. (1971): *Karst*. MIT Press, London.
- Mottershead, D. N., Moses, C. A. and Lucas, G. R. (2000) Lithological control of solution flute form: a comparative study. *Zeitschrift für Geomorphologie. N. F.*, 44(4), 491-512.
- Sweeting, M. M. (1972): *Karst Landforms*. Columbia University Press, New York.