

## 北九州市平尾台千仏鍾乳洞で起きている岩石—水—生物相互作用

Rock-water interaction under biological activity observed in Senbutsu-do Cave, Hirao-dai Plateau, Kitakyushu City, southwest Japan.

### Abstract

鮎沢 潤\*

Jun Aizawa\*

\* 福岡大学理学部地球圏科学科  
Department of Earth System Science, Faculty  
of Science, Fukuoka University, 8-19-1  
Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

Corresponding author: J. Aizawa,  
aizawa@fukuoka-u.ac.jp

The Senbutsu-do Cave is developed in Paleozoic limestone thermally metamorphosed by Cretaceous granodiorite to the southeast of the Hirao-dai Plateau, Kitakyushu City, southwest Japan.

Speleological studies on the basis of geology, mineralogy, geochemistry, biology and physical geography have been made from 2002 to 2010. Eight students of Fukuoka University joined this research project and they prepared their graduation theses. The fieldwork was successively developed around the Komori-jo Chamber in the middle of the cave to elucidate origin and genesis of authigenic minerals in connection with aquatic chemistry. The results obtained by them will be summarized as follows: These minerals can be accounted for by varying conditions of pH,  $[\text{PO}_4^{3-}]$  and  $[\text{Ca}^{2+}]$ . Data from chemical and/or mineralogical analysis as well as field evidence indicate that bat guano, host limestone, igneous rocks and volcanogenic sediments as origin and genesis of the minerals highly controlled by rock-water interaction under biological activity.

Keywords: Senbutsu-do Cave, cave minerals, water chemistry, speleology

### はじめに

北九州市小倉南区・田川郡香春町・行橋市・京都郡みやこ町および荏田町に位置する平尾台は北東—南西方向へ約 6 km, 北西—南東方向へ約 2.5 km の九州で最大規模の石灰岩台地である (第 1 図)。

平尾台では 200 近くの石灰岩洞窟が知られ, その数は今後の探索により増えていくことが確実であろう。千仏鍾乳洞 (以下, 千仏洞) は平尾台の南東縁, 田川変成岩と平尾石灰岩との境界部の標高 300 m に開口する総延長 1720 m, 高低差 107 m の横穴・蛇行・流出型の洞窟 (第 2 図) で, 長さに関しては福岡県および平尾台で 3 位, 九州・沖縄で 15 位, 全国でも 39 位である (千葉, 2010)。

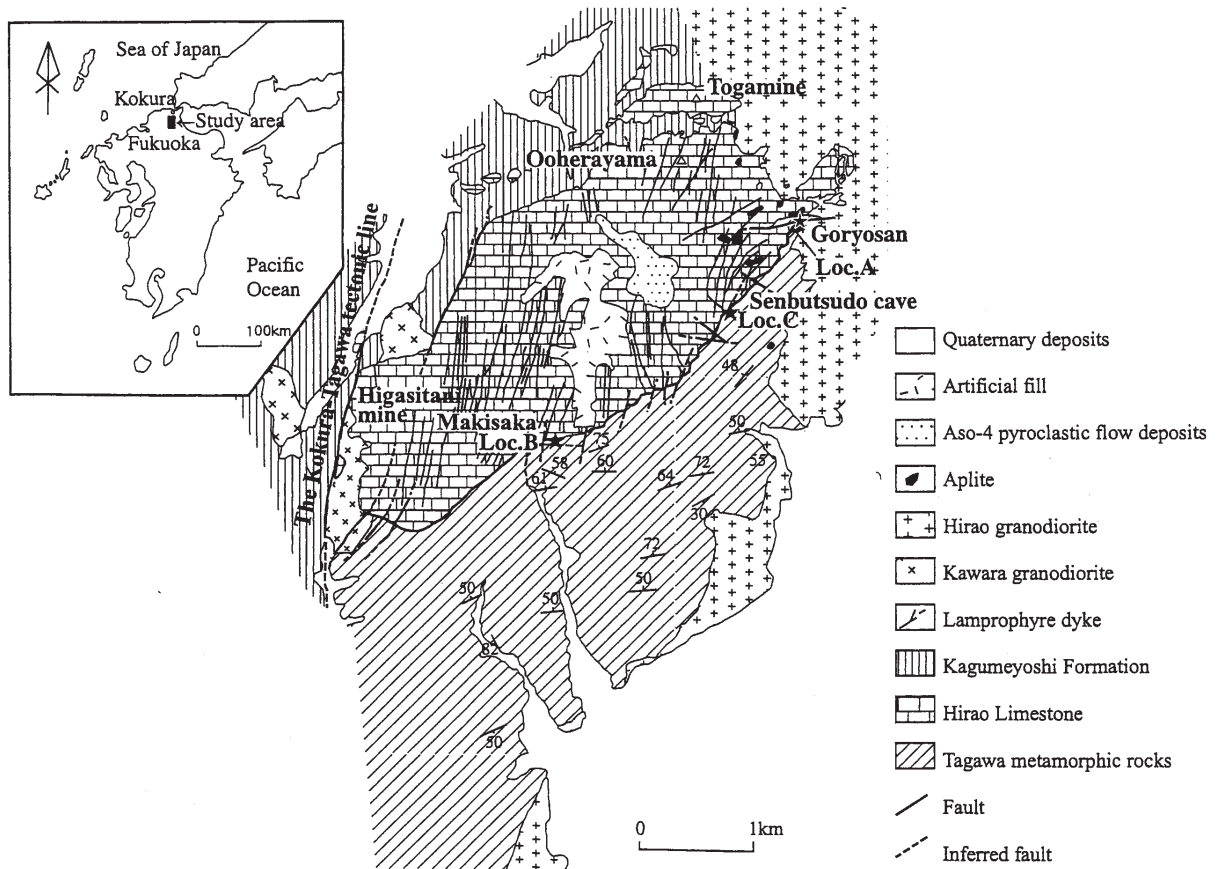
千仏洞は 1935 年に, 平尾台は 1952 年に, それぞれ国の天然記念物に指定され保護措置が講じられているが, 学術的な意義を評価するうえでの調査研究は限定的である。石灰岩洞窟や洞窟生成物は岩石—水相互作用の検証や広義の生物鉱化現象を解析する場として, また数百年～数万年単位での地球環境変動の記録媒体として注目されているが, 日本での適用例は必ずしも多くない。福岡大学理学部地球圏科学科地球科学分野の物質移動・循環グループは 2002 年以来, 継続して千仏洞をフィールドとする卒業論文調査を行い, また教員の個人研究でも約 20 年にわたって本洞窟および周辺で地質鉱物学的な検討が

なされた。千仏洞の調査は現在も展開中であるが, ここでは本学の卒業論文を通して解明された事例を紹介する。

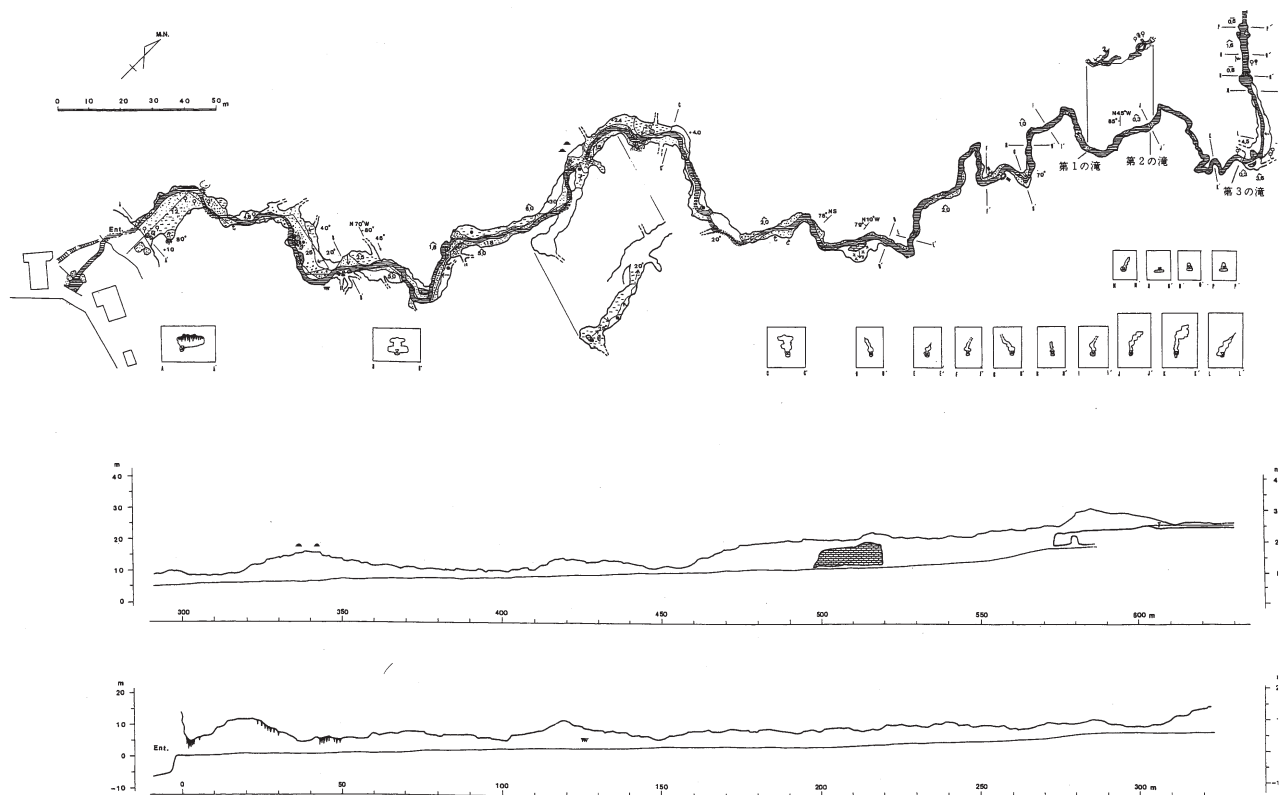
### 千仏洞および周辺の地質・地形概要

千仏洞を含む平尾台地域の地質に関し, 松本 (1951), 木下 (1953), 木下ほか (1954), 松下ほか (1969), 松下 (1971), 横田直吉退職記念会 (1982), 太田ほか (1992), 浦田ほか (1997), Fukuyama et al. (2004) などの報告がある。それらによると, 平尾台の地質は, 下位から田川変成岩, 呼野古生層 (松下, 1971) あるいは呼野層群 (太田ほか, 1992), 平尾花崗閃緑岩, 貫入岩脈, 第四紀堆積物 (火砕流などの火山性堆積物を含む) で構成される (第 1 図)。石灰岩の胚胎層準は呼野古生層または呼野層群上部層である。平尾台の石灰岩は秋吉帯と同様の形成および付加の過程を採ったと考えられているが, 白亜紀花崗岩類の熱変成で再結晶したため露頭での直接的な化石証拠は無い。石灰岩の再結晶化は二酸化炭素が溶解した天水による地表溶食にも影響を与え, 他地域に比べ平尾台のカッレン (石灰岩台地上に露出する岩石群) は丸みを帯びている。

千仏洞の現時点での総延長は 1720 m (千葉, 2010) であるが, これは概ね北北東—南南西方向と北西—南東方向の二系統の断裂に沿って蛇行する地下川沿いでの実測値である (第 2 図)。洞内は鍾乳石, 石筍, 石柱, フロー



第1図. 北九州市平尾台および周辺の地質図 (Fukuyama et al., 2004)



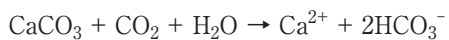
第2図. 平尾台千仏洞の平面図および断面図 (横田直吉退職記念会, 1982を一部改変)



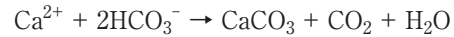
ストーン、リムストーン、ケイブピソライト、グアノ（第3図－3）、ノッチ、スカラップ、天井ポケット、フレアティックペンダント、バドースペンダントなど、多様な二次生成物や（微）地形がみられる。洞口から北東方向へ直距で約150mの白亜殿には火山性の堆積物（第5図－1）、約170mに位置する奥の細道では塩基性火成岩脈群の貫入（第5図－2）、約200mの蝙蝠城には纏まった量のコウモリグアノの堆積がみられる。蝙蝠城は観光洞となっている現河床から約4m上方にある旧河床の空間で、5m+の天井高をもつ。洞口から直距で約300m（実測で約900m）の堀サク門までは照明が施されている。

#### 千仏洞における岩石—水—生物相互作用

石灰岩をはじめとする炭酸塩岩は、ケイ酸塩岩に比べ、二酸化炭素を含んだ水に対する溶解度が著しく高い。この反応は



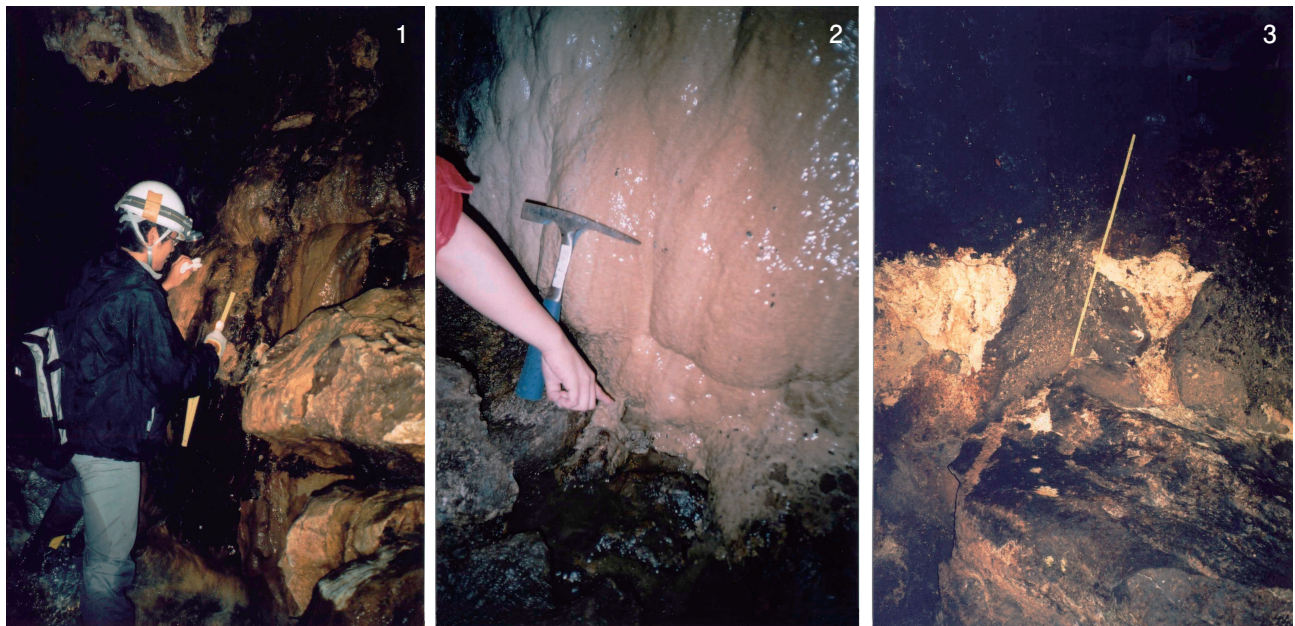
で表され、降雨としてカルスト台地上に降り注いだ天水が石灰岩の溶解や地下空間における洞窟形成の因子となることを示す。天水が地表からカルスト台地地下の洞窟空間へ達する間、土壌層では植物の根や生物・微生物の活動のため二酸化炭素分圧  $P_{\text{CO}_2}$  は大気 ( $P_{\text{CO}_2} = 10^{-3.43}$  atm) よりも1桁以上も大きい  $10^{-2}$  atmに達する。この結果、反応は右へ進み石灰岩の溶解は促進される。一方、石灰岩を溶解した水が地下空間で洞内大気と接すると、洞内大気の  $P_{\text{CO}_2}$  は土壌層の  $P_{\text{CO}_2}$  よりも低いため、反応は逆方向



に進み、炭酸塩鉱物の沈殿が起こる。このようにして、地表から地下へ至る過程で一度は水に溶解した岩石は、洞窟空間に入ると鉱物として再沈殿を起こす（吉村ほか、2009）。

上記は石灰岩洞窟で普遍的に起こる反応のひとつであるが、洞内には昆虫や植物を食糧とする翼手類（コウモリ）が生息していることも多い。平尾台でも、コキクガシラコウモリ *Rhinolophus cornutus* TEMMINCK、ユビナガコウモリ *Miniopterus furiginosus* (HODGSON)、キクガシラコウモリ *R. ferrumequinum* SCHREBER の3種が報告されている（横田直吉退職記念会、1982）。コウモリや鳥類の排泄物はグアノと呼ばれ、有機物（未分解のセルロース、リグニン、タンパク質、アミノ酸など）、キチンリン酸、リン酸を大量に含む。これらは洞窟内の硫黄酸化バクテリア、亜硝酸酸化バクテリア、硝酸酸化バクテリアなどによって分解され、硫酸・硝酸・リン酸・さまざまな有機酸となる。コウモリグアノの分解により生じた無機酸および有機酸は水を媒介として洞窟壁面や床面を移動し、石灰岩と反応してリン酸塩をはじめとする多様な二次鉱物を形成する（Hill and Forti, 1986, 鮎沢ほか、2003）。

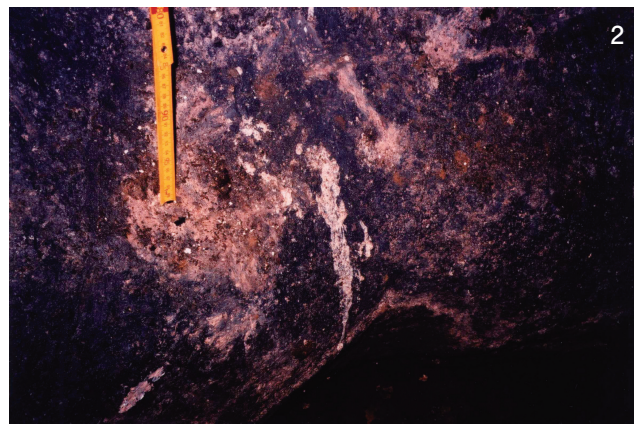
このように、石灰岩洞窟は単独でも岩石—水相互作用の場所であり、これにコウモリグアノが関与すると岩石—水—生物相互作用の場としての特異な反応が加わる。



第3図. 千仏洞の洞内写真

- 3－1 観光洞壁面（Lw）で層をなす二次鉱物
- 3－2 蝙蝠城ホール壁面（Uw）～床面（Uf<sub>1</sub>）の小プール
- 3－3 蝙蝠城ホール床面（Uf<sub>2</sub>）のグアノ堆積物（G）





第4図. 千仏洞の洞内写真

4-1 蝙蝠城ホール壁面 (Uw) とムーンミルク, 2003年8月撮影

4-2 蝙蝠城ホール壁面ムーンミルクの拡大写真



第5図. 千仏洞の洞内写真

5-1 白亜殿の火山性堆積物

5-2 蝙蝠城下流でみられる塩基性貫入岩脈

### 千仏洞における卒論調査

既述のとおり千仏洞では洞口から直距で約200mに位置する蝙蝠城で、纏まった量のコウモリグアノの堆積がみられる (第6図)。ここは現在でもコウモリが生息し、グアノ堆積量の見積りや鉱物形成にかかわる水の挙動を観察するのに適した場である。まず杉本 (2003Ms) は蝙蝠城ホールの床面に堆積するコウモリグアノを対象に、グアノ頂部から鉛直下方に向かっての二次鉱物分布、およびグアノから壁面へ向かう水平方向での二次鉱物分布を検討した。藤木 (2004Ms) はグアノ内部、すなわちグアノ頂部から洞窟床面との接触部までの間で、有機物の分解度を炭素および窒素の元素分析値に基づき評価し、グアノ間隙水のpHとの関係を論じた。福島 (2006Ms) は蝙蝠城ホールから観光洞レベルまでの壁面で、現在も形成しつつある二次鉱物の同定を行った。村上 (2007Ms) は福島 (2006Ms) の調査を発展させ、鉱物形成にかかわる水質化学を鉱物および水の分析値を基に考察した。小宮 (2008Ms) は岩石鉱物—水相互作用を蝙蝠城ホールから洞窟全体へ拡張し、物質移動と循環を化学量論的に検討した。小宮 (2009Ms) は小宮 (2008Ms) を受けて、2007年2月から2008年12月まで2年分の水分析データを基に千仏洞における水質および鉱物形成過程の精緻化を図った。一方、古賀 (2009Ms) はこれまで見逃されてきた蝙蝠城ホール壁面に分布するコウモリグアノに着目し、壁面微地形と二次鉱物形成の関係を検討した。齊藤 (2010Ms) は古賀 (2009Ms) の研究過程で明らかになったムーンミルク現象 (第4図-1 および第4図-2) について結晶学と力学の見地から考察を加え、チキソトロピーの解析を行った。

日本で洞窟学は開拓途上にある学問であるが、洞窟をフィールドとする本学の卒論は地質・鉱物学的なアプローチにとどまらず、化学的・物理学的・生物学的な視



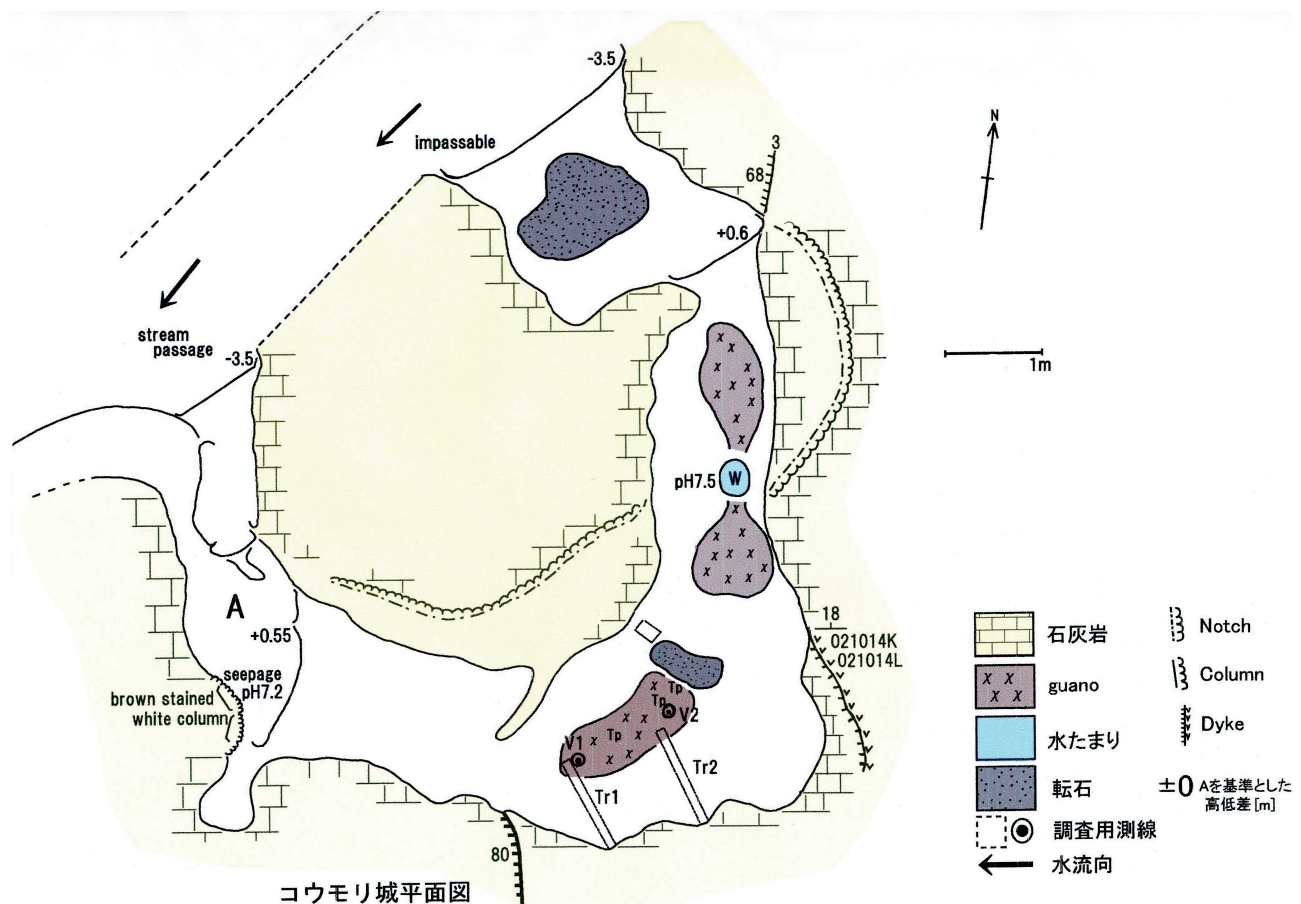
点をも加味した学際的な調査および解析手法を採った。これらの成果は別記のように折にふれ公表してきたが、本項では岩石鉱物と水質、ふたつのトピックスに絞って紹介する。

### 千仏洞で産出する鉱物

鉱物調査は蝙蝠城の6箇所、すなわち観光洞の床面 (Lf)、観光洞と蝙蝠城ホール間の壁面斜面 (Lw)、蝙蝠城ホールの床面 ( $Uf_1$ )、蝙蝠城ホール床面のグアノマウンド内部 (G)、グアノマウンドとホール壁面との間の床面 ( $Uf_2$ )、および蝙蝠城ホール壁面 (Uw) で行った。鉱物の同定は薄片調製と偏光顕微鏡観察、X線回折法、赤外分光光度法、化学分析法などに基づき、第1表に示す結果を得た。このうちhydroxylapatite水酸リン灰石は蝙蝠城および周辺の各所で最も普遍的に産出する二次鉱物であり、産状は皮殻、薄層、粉末、華、小球類など多様であった。滴水水や壁面伝いに流入が見られる相対的な「上流」側 ( $Uf_2$ ) では細粒で結晶化度も低いのにに対し、「下流」側 (Lw) では粗粒・高結晶化度となる傾向がある。この鉱物の出現位置と頻度を注意深く観察すると、現在は必ずしもコウモリが生息していない場合でも少なからず生成が認められるが、こ

れはコウモリコロニーの移動や水の流下経路の変化を示す。variscite ヴァリッシャー石とberlinite ベルリナイトは、 $Ca^{2+}$  を欠き  $Al^{3+}$  と  $PO_4^{3-}$  で構成される鉱物である。Alの給源として、洞窟内および台上で見られる火山性堆積物のガラスからの酸性条件下での溶脱が考えられる。berliniteとvarisciteは無水—2水塩の関係にあるが、年間を通じて湿度が100%の洞窟内で前者への脱水が起こる過程については未解明のままである。varisciteはhydroxylapatiteやapatiteリン灰石とともにリン酸塩鉱物の安定領域をpHと $[PO_4^{3-}]$ から議論するうえで好適な指標であり (Oelkers and Valsami-Jones, 2008)、鉱物形成に関わる水質変化の定量的な解析を行うことができた。monetite モネタイトは非晶質リン酸塩やbrushite ブルッシュ石からhydroxylapatiteへ至る中間反応で生じる鉱物であり (Borkiewicz et al., 2010)、グアノから溶出したイオンと岩石との反応を速度論的に考えるうえで有用な指標と期待される。bashegyite バシェジャイトは蝙蝠城ホール壁面でムーンミルクを形成する鉱物である。ムーンミルクの形成条件として、1~7  $\mu m$  程度に揃った鉱物粒径、64~67%に達する高含水率、落石などによる衝撃の付加が挙げられる。

これらリン酸塩鉱物の起原として、グアノ由来の



第6図. 千仏洞蝙蝠城の平面図

$\text{PO}_4^{3-}$ 、石灰岩起原の $\text{Ca}^{2+}$ 、火山性堆積物や火成岩岩脈から溶出した $\text{Al}^{3+}$ と $\text{Fe}^{2+}$ 、および水に起因する $\text{OH}^-$ と $\text{H}_2\text{O}$ が挙げられる。

なお、グアノの表層から下底までの間でpHは4.8から2.2に、Cは13.6%から1.1%に、Nは28.6%から2.3%に減少している。Shahack-Gross et al. (2004)によると、昆虫食 (insectivor) は植物食 (fruit bats) のコウモリよりもN、SおよびPに富むグアノを産生する。平尾台に生息するコキクガシラコウモリ、キクガシラコウモリ、ユビナガコウモリの3種 (横田直吉退職記念会, 1982) は昆虫食であり、これらのグアノ分解物は植物食の場合よりも低いpHとなるため千仏洞蝙蝠城では多様なリン酸塩鉱物が形成したといえよう。

### 千仏洞地下水の水質と水理

洞窟鉱物の調査との関連から、蝙蝠城周辺で4箇所、洞口1箇所の計5定点で継続して滴下水や流水試料の採取、pHと水温の現場測定を実施した。また、年度によっては蝙蝠城観光洞区間の床面流水と滴下水、蝙蝠城から直距で約20m下流側に位置する奥の細道の地下河川水、および洞口付近の壁面流水などを対象に試料採取とpH計測を行った。水試料は孔径が $0.45\mu\text{m}$ のセルロースフィルターを装着したシリンジで採水・濾過後、250 ml ポリエチレンボトルに捕集し液面に二酸化炭素を吹き付

け、分析までの間は密封および冷蔵保存した。化学分析は主要陽イオンを原子吸光法、主要陰イオンをイオンクロマトグラフ法、シリカを吸光光度法、炭酸水素イオンをグラン法で求めた。継続して水質データを得ることができ、かつ二次鉱物形成との関連が議論可能な観光洞の壁面で、2006年から2008年の変化傾向をみると次のとおりであった。

- 1) pHに関し、グアノの影響が少ないか無い滴下水や壁面流水では夏に低く (7.4)、冬は高い (8.4)。グアノに近接する場合は年間を通じてpH 7.6 ~ 7.2程度で推移するが、ホール床面上にある小プールの水はグアノの影響が少ない場の水よりも常に低いpHを示す。
- 2)  $[\text{Ca}^{2+}]$ に関し、夏は高く (100ppm)、冬は低い (40ppm)。
- 3)  $[\text{HCO}_3^-]$ に関し、夏は高く (250ppm)、冬は低い (100ppm)。
- 4)  $[\text{PO}_4^{3-}]$ は場所と季節の変動が大きく、最高6ppm、最低0ppmであった。
- 5)  $\text{CaCO}_3$ は場所を問わず年間を通じて飽和している。
- 6) hydroxylapatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$  の飽和指数は場所と季節による変動を伴い、最大6.42の過飽和、最小-3.35の不飽和であった。

水理過程は温度条件と併せてカルスト域の地形形成に大きな影響を与える (Ford and Williams, 2007)。そこで蝙蝠城の観光洞区間では、瞬間値ではあるが水質と併せて流量の計測も行った。 $[\text{Ca}^{2+}]$ と $[\text{CO}_3^{2-}]$ の分析値、お

第1表. 千仏洞蝙蝠城で見い出された二次鉱物種

Minerals	Chemical formula	Site
anorthite-Na	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 - \text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Uw (as volc. sed.)
berlinite	$\text{AlPO}_4$	Uw
calcite	$\text{CaCO}_3$	Lf, Lw, Uw
crandallite	$\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Uf <sub>2</sub>
fluorapatite ?	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F})$	Uw
hydroxylapatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	Lw, Uf <sub>1</sub> , Uf <sub>2</sub> , Uw
leucophosphite	$\text{K}_2\text{Fe}_4^{2+}(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	G, Uf <sub>2</sub>
magnesiohornblende	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$	Uw (as dike)
matulaite	$\text{CaAl}_{18}(\text{PO}_4)_{12}(\text{OH})_{20} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$	Uf <sub>2</sub>
monetite	$\text{CaHPO}_4$	Uf <sub>2</sub>
purpurite ?	$(\text{Mn}, \text{Fe})\text{PO}_4$	Uf <sub>2</sub>
quartz	$\text{SiO}_2$	G, Uw
reichellite ?	$(\text{Ca}, \text{Fe})(\text{Fe}, \text{Al})_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}, \text{F})_4$	G
spheniscidite	$(\text{NH}_4)\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Uf <sub>2</sub>
strengite	$(\text{Fe}, \text{Al})\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Uf <sub>2</sub>
taranakite	$\text{KAl}_3(\text{PO}_4)_3(\text{OH}) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Uf <sub>2</sub>
variscite	$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Uw, Uf <sub>2</sub>
vashegyite	$2\text{Al}_4(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	Uw
whitemoreite	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Uw

G, guano; Lf, lower floor; Lw, lower wall; Uf<sub>1</sub>, upper floor; Uf<sub>2</sub>, upper floor adjacent to guano deposits, and Uw, upper wall.



よび流量から、当日次の  $([Ca^{2+}] + [CO_3^{2-}]) \times 1$  日当流量によって月毎に石灰岩の溶解量を求め、年間を通しての概算を行うと、19t/年～80t/年程度になった。また、流量計測データと気象庁の最寄り観測点（北九州市小倉南区頂吉<sup>かぐめよし</sup>）の雨量データを比較すると、いくつかの仮定条件はあるものの、千仏洞における地下河川水の滞留時間は3～12日程度と推定される。

### 未解明の問題と今後の展開

千仏洞における現在までの卒業論文が蝙蝠城周辺での現象に偏っている点是否めない。今後は洞口付近での生物地球化学的（例えばシアノバクテリアによる光合成が水質に及ぼす影響、生物鉱化作用が二次生成物の沈殿に与える影響など）・物理化学的（例えば、洞内霧の生成に伴う洞窟形態の解析、鉱物の回折X線半価幅に基づく結晶化度と反応速度論の議論など）検討（Bengtsson et al., 2008）、洞窟内部の人工照明区間における植物、特に鮮苔類の侵入が岩石鉱物に及ぼす影響、堆積物—水質—洞窟生物との関連などの、岩石—水—生物相互作用にかかる研究を進めたい。これらは洞内環境保全および修復の観点からも、これまで以上に重要な課題となることは疑いない。

### 謝 辞

研究を進めるにあたり、千仏洞管理者の皆様から調査に対してご理解と多くの便宜を図っていただいた。九州大学大学院理学研究院の吉村和久教授、栗崎弘輔博士、反応分析化学研究室の皆様には室内実験および野外調査でお世話になった。福岡大学理学部地球圏科学教室の田口幸洋教授、奥野 充准教授、柚原雅樹博士、石原与四郎博士から有益なご意見・ご教示をいただいた。本稿は千仏洞を直接のフィールドとした杉本敏樹、藤木道雄、福島千晴、村上恵理、小宮詩保、小宮早織、古賀常郎、齊藤 豪（卒業年順）の皆さんの卒業論文、および三角拓也、井浦 聡、畠中尚子、平田 悠、中川理恵（卒業年順）の皆さんの野外調査支援に拠るものであり、記してお礼申し上げます。

### 文 献

- 鮎沢 潤・杉本敏樹・吉村和久, 2003, 平尾台千仏洞の洞窟鉱物. 日本洞窟学会誌, 28, 31–39.
- Bengtsson, Å., Shchukarev, A., Persson, P. and Sjöberg, S., 2008, A solubility and surface complexation study of a non-stoichiometric hydroxylapatite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 73, 257-267.
- Borkiewicz, O., Rakovan, J. and Cahill, C. L., 2010, Time resolved in situ studies of apatite formation in aqueous solutions. *Amer. Mineral.*, 95, 1224–1236.
- 千葉伸幸, 2010, 私見 日本の大洞窟リスト. *Caving Journal*, No. 39, 24–27.
- Ford, D. and Williams, P., 2007, *Karst hydrology and geomorphology*. John Wiley and Sons, Ltd., 562 p.

- Fukuyama, M., Urata, K. and Nishiyama, T., 2004, Geology and petrology of the Hirao Limestone and the Tagawa metamorphic rocks – with special reference to the contact metamorphism by Cretaceous granodiorite. *Jour. Mineral Sci.*, 99, 25–41.
- Hill, C. A. and Forti, P., 1986, *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society, 238 p.
- 木下亀城, 1953, 平尾台. 小倉市役所, 32 p.
- 木下亀城・岡本要八郎・松本 徹夫・宮久三千年, 1954, 北九州平尾台と三ノ岳をめぐる鉱物産地. 小倉市役所, 50 p.
- 松本達郎, 1951, 北九州・西中国の基盤地質構造概説. 九大理研報, 3, 37–48.
- 松下久道, 1971, 九州炭田堆積盆地生成の一考察. 九大理研報, 11, 1–16.
- 松下久道・永井利明・金子宣式, 1969, 平尾台およびその周辺の地質構造—北部九州の地質構造の研究—その1. 九大理研報, 9, 113–119.
- Oelkers, E. H. and Valsami-Jones, E., 2008, Phosphate mineral reactivity and global sustainability. *Elements*, 4, 83-87.
- 太田正道・西田民雄・藤井厚志, 1992, 企救半島—平尾台周辺地域. 日本の地質九州地方編集委員会編, 九州地方. 共立出版, 16–18.
- Shahack-Gross, R., Berna, F., Karkanas, P. and Weiner, S., 2004, Bat guano and preservation of archaeological remains in cave sites. *Jour. Archaeol. Sci.*, 31, 1259-1272.
- 浦田健作・藤井厚志・吉村和久・井倉洋二, 1997, 平尾台の水文地質. 日本地質学会福岡大会見学案内書, 189–215.
- 横田直吉退職記念会, 1982, 平尾台の石灰洞. 日本洞窟協会, 272 p.
- 吉村和久・栗崎弘輔・鮎沢 潤, 2009, 洞窟化学・鉱物. 日本洞窟学会35回大会秋吉台大会洞窟講習, 82–91.

### 本項に関連する学会発表

- 杉本敏樹・鮎沢 潤・吉村和久, 2003, 北九州市平尾台千仏洞における洞窟鉱物の起原. 日本地質学会西日本支部会例会.
- 鮎沢 潤・村上恵理・小宮詩保・吉村和久, 2008, 石灰洞の壁面で見出されたリン酸塩—炭酸塩鉱物の微細綿状構造と形成にかかわる水. 日本地質学会115年会要旨集, 252-252.
- 平田 悠・齊藤 豪・小宮詩保・小宮早織・鮎沢 潤, 2009, 平尾台千仏鍾乳洞における2007年2月～2009年8月の2年半にわたる洞内水のpHと流量変化. 日本洞窟学会35回大会講演要旨, 58-58.
- 鮎沢 潤・齊藤 豪・平田 悠, 2010, レオロジカルな挙動を示す洞窟鉱物. 日本地質学会117年会要旨集, 147-147.

### 本項に関連する福岡大学の卒業論文

- 藤木道雄, 2004Ms, 北九州市平尾台千仏鍾乳洞におけるコウモリグアノの分解に対する地球科学的研究. 福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文（手記）, 26 p.
- 福島千晴, 2006Ms, 平尾台千仏洞壁面における垂直方向の物質移動と層構造を形成する鉱物の生成条件. 福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文（手記）, 37 p.
- 古賀常郎, 2009Ms, 北九州平尾台千仏鍾乳洞における蝙蝠城ホール壁面・微地形のグアノを起原とする二次鉱物分布. 福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文（手記）, 35 p.
- 小宮早織, 2009Ms, 北九州市小倉南区平尾台千仏鍾乳洞における洞内水の組成変化と蝙蝠城床面の洞窟鉱物. 福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文（手記）, 52 p.
- 小宮詩保, 2008Ms, 北九州市小倉南区千仏鍾乳洞における洞窟鉱物と鉱物形成にかかわる水の組成変化との関係. 福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文（手記）, 53 p. + xv
- 村上恵理, 2007Ms, 北九州市小倉南区平尾台千仏鍾乳洞における洞窟鉱物と水の相互作用. 福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文（手記）, 65 p.

齊藤 豪, 2010Ms, 北九州市平尾台千仏鍾乳洞蝙蝠城壁面にみられるムーンミルクの形成メカニズム. 福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文(手記), 46 p. + iii

杉本敏樹, 2003Ms, 北九州市平尾台千仏鍾乳洞における洞窟鉱物の起原と成因に関する地球科学的研究—コウモリグアノと石灰岩の相互作用—. 福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文(手記), 45 p.

(要 旨)

鮎沢 潤, 2010, 北九州市平尾台千仏鍾乳洞で起きている岩石—水—生物相互作用. 福岡大学研究部論集, C: 理工学編, 2, 35-42. (Aizawa, J., 2010, Rock-water interaction under biological activity observed in Senbutsu-do Cave, Hirao-dai Plateau, Kitakyushu City, southwest Japan. *The Bulletin of Central Research Institute Fukuoka University*, C: Science and Technology, 2, 35-42.) .

福岡県北九州市平尾台千仏鍾乳洞の蝙蝠城ホールおよび周辺で2002年以降, 継続して岩石鉱物—水—生物相互作用についての調査が行われた. 本稿では, 本研究に参加した卒業研究生の業績を中心にして調査結果を述べる. 洞窟地形・地質測量, 堆積物および鉱物調査, 滴下水・壁面流水・鉱物/堆積物の間隙水・床面流水の化学分析に基づき, 蝙蝠城は通常の地球科学的なサイクルにおける岩石鉱物—水相互作用に加え, 生物作用(哺乳動物による生物源炭素・窒素・リンの搬入, バクテリアによる分解と可溶化)の影響を強く受けていることが明らかになった. 微生物が関与する鉱物化作用の詳細については, 今後の検討が必要である.