

近江カルスト、佐目石灰岩体に発達する 犬上川地下水系

浦田健作・近藤淳郎・吉村和久

Underground drainage system of Inukami-gawa River developed in the Same limestone block, Oumi karst, Shiga Prefecture, Central Japan.

Kensaku URATA, Junro KONDO, Kazuhisa YOSHIMURA

キーワード：近江カルスト、カルスト地下水系、色素追跡、深部飽和帯洞窟、滋賀県多賀町

要 旨

日本を代表するカルスト地域の一つである近江カルストでは、カルスト・システムの主体である地下水系についてはほとんど知られていない。本研究では近江カルスト中央部、佐目石灰岩体の犬上川伏流区域（滋賀県多賀町）において地質学的・地形学的・水文学的・洞窟学的調査と地下水系の色素追跡を実施し、犬上川地下水系について考察した。犬上川は佐目石灰岩体上流側地質境界で地下へ流入し、下流側地質境界の出坪湧泉より流出することが色素追跡で確認された。伏流区域では2.3kmの屈曲した枯谷を形成しており、屈曲区間をショートカットする直線距離約1.5kmの地下流路によって地表河川が地下に争奪され、飽和帯ループ状の深部飽和帯洞窟が形成されていることが考えられる。佐目石灰岩体に流入する犬上川の二つの支流についても同様に地表河川から地下河川へ争奪・ショートカットされていると推定される。

はじめに

近江カルスト（新帯，1918）は滋賀県と三重県の県境付近において伊吹山（太田，2006）から鈴鹿山地（小池，2004）北部にかけて南北約40km、東西十数kmの範囲に分布する大小の石灰岩地域の総称であり、近畿地方を代表する日本有数のカルスト地域である。これまで新帯（1918）、藤原岳自然科学館編（1976,1984）、霊仙洞窟調査隊・ひみず会（1989ab）、武内（1991

）などの多くの調査報告があり、洞窟・ドリーネ地形・生物相などが調査されているが、カルスト・システム（Urata, 2009）の主体である地下水系についてはほとんど調査例がない。そのため本研究では近江カルスト中央部に位置する滋賀県多賀町の犬上川が佐目石灰岩体（図1・2）において伏流する現象（新帯, 1918）に注目し、地質学的・地形学的・水文学的・洞窟学的観察と色素を用いた地下水追跡調査を実施した。ここでは現地調査結果（浦田, 1987）にその後の進展を加えて佐目石灰岩体の地下水系について考察する。

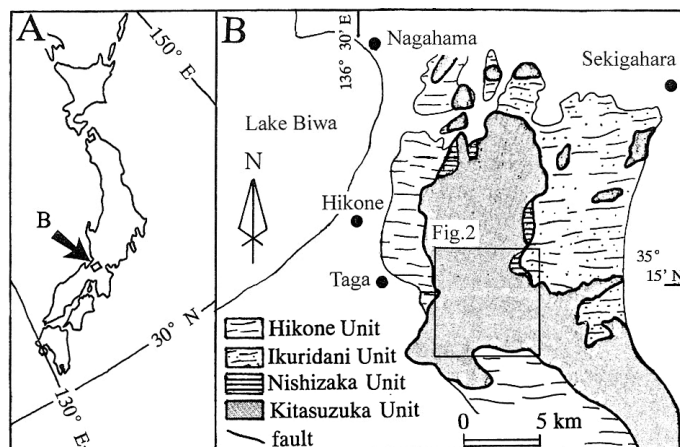
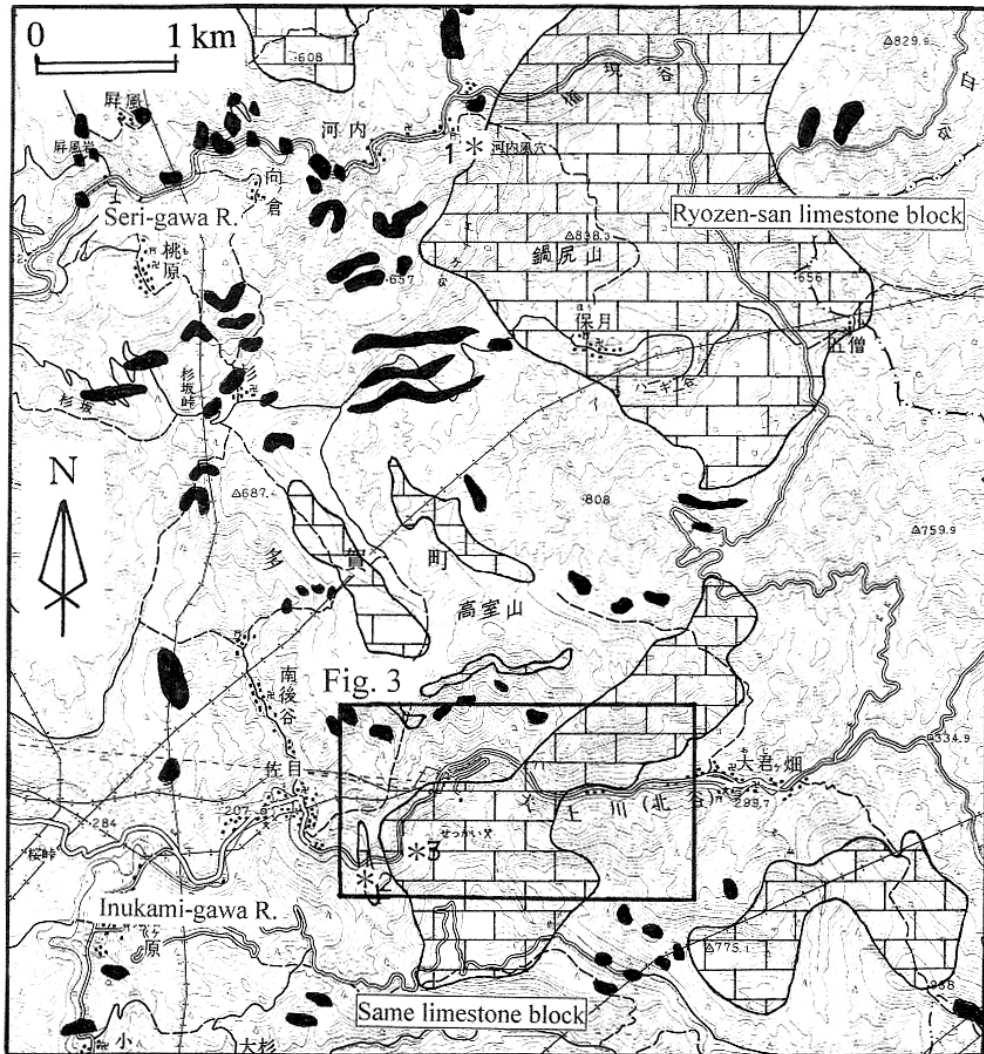


図1. 調査地域位置図 (A) と近江カルスト中央部地質概略図 (B) 山縣 (2000)を編集.
Fig.1. The study area (A) and simplified geologic map of the central Oumi Karst (B)
(after Yamagata, 2000).

地質・地形概説

近畿から中部日本にかけて広く分布する中生代ジュラ紀付加体である美濃帯には、古生代ペルム紀の海洋岩石である石灰岩体が数多く分布する（佐野・小嶋, 2000）。これらの美濃帯石灰岩のうち、伊吹山（標高1377m）から霊仙山（標高1084m）、御池岳（標高1242m）、藤原岳（標高1143m）とそれらの周囲に分布する石灰岩体が近江カルストを構成する。



limestone * cave
 1. Kawachi no kaza-ana 2. Same no koumori-ana 3. Midoro-ga-ike

図2. 近江カルスト中央部の石灰岩と主要洞窟分布図. 宮村ほか (1976), 山縣 (2000) を編集. 1/5万地形図「彦根東部」(国土地理院, 1990) 使用.

Fig.2. Limestone and main caves distribution in the central Oumi Karst. Compiled from Miyamura *et al.* (1976) and Yamagata (2000). Map modified from 1/50,000 scale geomorphological map 'Hikone toubu' (Geographical Survey Institute, 1990).

石灰岩体の分布状態によって近江カルストは北部の伊吹山地域、中央部の霊仙山地域、南部の御池岳・藤原岳地域の3つの石灰岩地域に分けることができる。このうち、鈴鹿山地に属する近江カルスト中央部と南部は清水 (1984) によって鈴鹿山脈北部石灰岩地域と呼ばれた。本研究地の佐目石灰岩体は近江カルスト中央部で霊仙山に次いで大きな石灰岩体である (図2)。

この地域の地質は山縣（2000）によると、大きく4つの構造層序ユニットに分けられる（図1B）。琵琶湖に近い西部に彦根ユニット、中央部に北鈴鹿ユニットと西坂ユニット、東部に幾里谷ユニットが分布する。彦根ユニットと幾里谷ユニットは泥岩基質のジュラ系メラングジュ（混在岩）、北鈴鹿ユニットはペルム系海洋性岩石、西坂ユニットは陸源性岩石と海洋性岩石の混在岩である。近江カルストを構成する石灰岩体は主に北鈴鹿ユニットに含まれる。

研究地域の近江カルスト中央部は鈴鹿山地北部に位置し、標高1000m前後の山頂が連なる。石灰岩体は谷底から尾根、山頂まで、高度差500mに達する急斜面を形成している。山口暁秋吉台（山崎，1906）や福岡県平尾台（岩崎，1909）のような台地カルスト地形とは異なり、枯谷や峡谷（写真1）が発達する山地カルスト地形が顕著であるが、鞍部の小起伏地にはドリーネが発達する（新帯，1918；磯辺，1984）。

犬上川に沿った佐目石灰岩体の地質・地形・水文・洞窟

佐目石灰岩体は霊仙山石灰岩体の南側に位置し、長さ3km、幅0.5～1.5kmで北東から南西に長い岩体である（図2）。岩体中央部では石灰石が採掘されている。犬上川（北谷）は佐目と大君ヶ畑（おうじがはた）のあいだの佐目石灰岩体地域において伏流し、約2.3kmの区間は枯川となっている。佐目石灰岩体の西端には出坪（でつぼ）と呼ばれる湧泉群があり、大量の地下水が流出している。この湧水がこれより下流の犬上川の直接の水源となっており、上流で伏流した地表流は出坪より湧出するものと古くから考えられている（新帯，1918）が、実験的な証拠は得られていなかった。そこで枯川部分の地質・地形及び地表流の流入・流出状況を調査し、大君ヶ畑の伏流地点に色素を投入して出坪への流出を確認した（浦田，1987；本田ほか，1989）。地質・地形・水文状況のルートマップを図3Aに示す。宮村ほか（1976）によると出坪が位置する石灰岩は佐目岩体とは離れたレンズ状の小岩体とされているが、両者は一連の岩体であることを現地調査で確認した。

犬上川の地表流は大君ヶ畑の下流約1.5kmの石灰岩と非石灰岩の境界付近（標高約270m）で伏流する（大君ヶ畑吸込：図3、図4A）。伏流地点に露出する黒色泥岩は山縣（2000）の西坂層に相当すると思われる。明確なポノール（吸込穴）は存在せず、河床の砂礫中に徐々に浸透している。地表流の末端は流量によって移動するようである。調査時は比較的流量が少なかったためか、地表流は石灰岩地域に到達する前に泥岩地域において伏流していた（図4A・写真2）。

採石所付近では河床に水流が見られるが、これは右岸の非石灰岩の沢（仮称北支流）より流入したものであり、約500m流下して徐々に河床に伏流する。

石灰石採石所入口より出坪までの区間は急峻な石灰岩壁に囲まれた狭い枯谷になっている（写真3）。兩岸の岩壁には多くの小石灰洞が分布する（霊仙山洞窟調査隊・ひみず会，1989ab）。

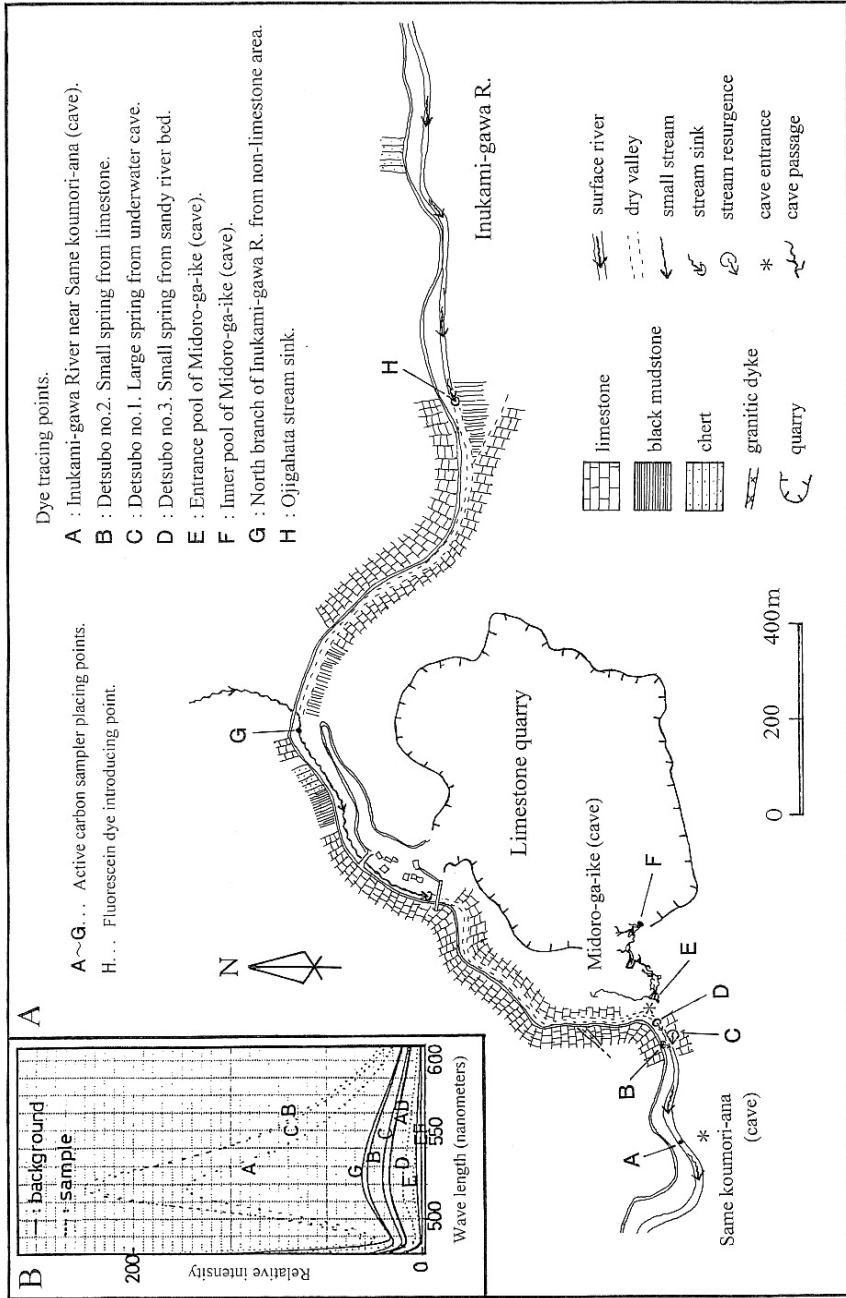


図3. 犬上川に沿う佐目石灰岩体付近の地質・地形ルートマップと色素追跡地点 (A)、A-G地点に設置した活性炭からの抽出物の蛍光スペクトル (B).

Fig.3. Geological and geomorphological route-map along the Inukami-gawa R. around the Same limestone block, showing the dye tracing points (A); and fluorescence spectra of compounds extracted from active carbon installed at the sites A-G (B).

これらの石灰洞は割れ目に沿って溶食された未発達な空洞である。右岸の道路面より2～3m高い位置には、小礫よりなる堆積層、トラバーチン石灰岩によって埋没した空洞が見られる。

標高225m付近にある出坪には複数の湧泉が分布するので、便宜的に規模の大きいものから第1～3湧泉とする。一般には最大の湧泉（第1湧泉）が出坪と呼ばれている。第1湧泉は犬上川の左岸石灰岩壁下の空洞から湧出する大規模な湧泉である（図4B・写真4）。湧出口は幅5mに達する。図4Bのように石灰岩壁には洞窟の痕跡と思われる溝状の溶食くぼみがあり、水面下に空洞が続く。水中洞窟から地下水が湧き上がる「ヴォークリュース型」のカルスト湧泉（Ford & Williams, 1989）である。水中洞窟の規模や連続性については未調査である。第1湧泉対岸（右岸）の石灰岩から流出する小規模な湧水を出坪第2湧泉とする。また上流側の河床にある小規模湧泉を出坪第3湧泉とする。

出坪の40mほど上流の左岸、河床より10mほど上の斜面に深泥ヶ池（みどろがいけ）が開口する。総延長1326m、高度差約16mの横穴石灰洞である。洞窟通路は洞口近くで二手に分かれ、北側と東北東側とに延びる。北側の通路は天井の低いほぼ水平な横穴で、犬上川の枯谷に並行する。洞口近くと東北東の通路最奥部の2地点にプールがあるが、地下水流は見られない。

また、出坪から200mほど下流の左岸斜面に古くから知られた佐目のこうもり穴（佐目の風穴）が開口する。洞内に地下水流は見られない。

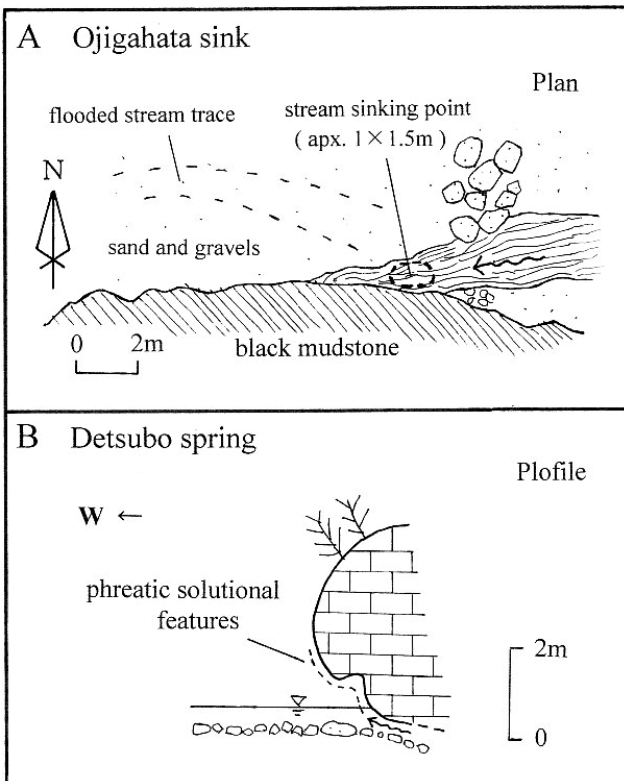


図4. 大君ヶ畑吸込 (A) と出坪第1湧泉 (B) のスケッチ.

Fig.4. Field sketch of Ojigahata sink (A) and Detsubo spring no. 1 (B).

色素追跡調査

自然状態での流水中の色素量（バックグラウンド）を知るために、1987年10月13日から11月3日まで、大君ヶ畑吸込地点より下流に位置するA～Gの7地点に色素吸着剤として活性炭10gを入れた網容器を設置した。各地点の位置は図3Aに示す。回収後、新たにA～Fの6地点に設置し、大君ヶ畑吸込より地下に流入する河川水にフルオレセインナトリウム色素（商品名ウラニン）40gを投入した。活性炭は同年12月13日に回収した。ただし深泥ヶ池最奥部プール（F地点）のものは未回収である。

回収した活性炭に吸着した色素の検出は九州大学理学部化学教室で行った。乾燥させた活性炭5gにイソプロピルアルコール、アンモニア水、水の1：1：2混合溶液（Jones,1984）5mlを注ぎ、吸着していた色素を溶液に脱着した。それをろ紙でろ過後、セル長1cmのセルに入れて、分光蛍光光度計（島津RF-5000）でフルオレセインナトリウム特有の蛍光スペクトルを測定した。励起波長は460 nm（ナノメートル）である。測定結果を図3Bに示す。

バックグラウンドとして検出された色素は、フルオレセインナトリウムと同様に蛍光を発するクロロフィルの分解生成物である可能性がある。これは自然状態で普遍的に河川水に含まれている。投入したフルオレセインナトリウム色素はA、B、C地点で検出された。この結果から、大君ヶ畑吸込から出坪第1・第2湧泉への地下水流出が確認された。両地点の蛍光スペクトル強度がほぼ等しいことから、2つの湧泉は流路を共有するものと考えられる。D、E地点はバックグラウンドと同等以下の強度でしかなく、投入色素は検出されなかった。この結果から、出坪第3湧泉と深泥ヶ池洞口付近の地下水は犬上川上流からの流入水とは直接関係しない。

佐目石灰岩体の地下水系と洞窟系

以上の調査結果を総合して、推定される佐目石灰岩体の地下水系を図5に示した。犬上川が伏流する区間で河谷は石灰岩地域から非石灰岩地域へ北側に突き出して屈曲している。大君ヶ畑吸込（OS）と出坪湧泉（D-1）との距離は犬上川沿いで約2.3km、直線距離は約1.5km、高度差は約45mであり、カルスト地下水系が発達することによって地表河川の屈曲区間が地下に争奪されてショートカットする流路が形成されているものと考えられる。

また石灰岩体の南東にある支流（仮称南支流）の谷においても、地表流は非石灰岩地域から石灰岩地域に入ると伏流（SS）し、枯谷となっている。この枯谷は北北西に延びているが、伏流した水流は地下で犬上川の地下水流と合流して出坪に流出していることが推測される。一方、北側の支流（仮称北支流）の伏流水は伏流地点（NS）に近い出坪第3湧泉（D-3）に湧出する可能性が高い。本流の地下水系と同様に地表河川の屈曲部を地下に争奪・ショートカッ

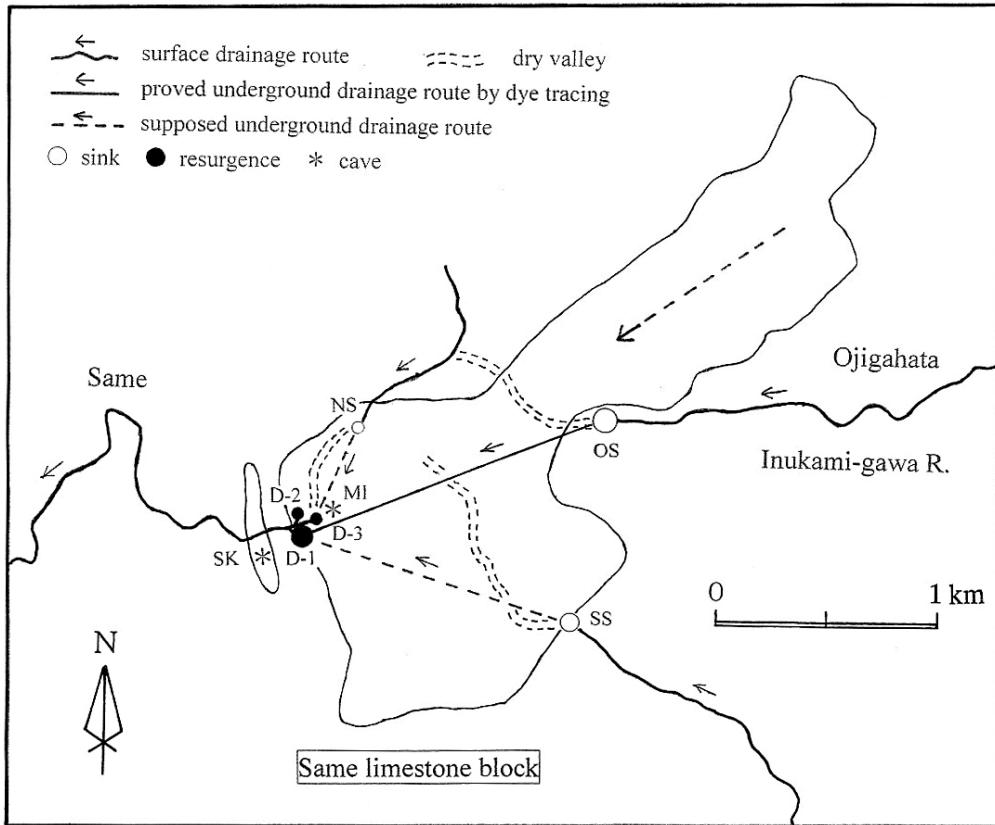


図5. 佐目石灰岩体のカルスト地下水系図.

Fig.5. Karst underground drainage system in the Same limestone block.

OS: 大君ヶ畑吸込 Ojigahata sink NS: 北支流吸込 North branch sink SS: 南支流吸込 South branch sink D-1: 出坪第1湧泉 Detsubo spring no.1 D-2: 出坪第2湧泉 Detsubo spring no.2 D-3: 出坪第3湧泉 Detsubo spring no.3 SK: 佐目こうもり穴 Same no koumori-ana (cave) MI: 深泥ヶ池 Midoro ga ike (cave)

トする直線的な地下流路が形成されていることが考えられる。おそらく深泥ヶ池洞窟の北に延びる通路の下層に位置するのだろう。さらに佐目石灰岩体全体を見渡すと、大君ヶ畑吸込付近から北東側山地に細長く延びる部分では北東から南西に向かう地下水系が存在することが推定される。

ところで深泥ヶ池洞窟 (MI) は推測される犬上川地下水系と重なる位置にある。霊仙洞窟調査隊・ひみず会 (1989b) の洞窟縦断面図から判断すると深泥ヶ池の最奥部プールの水面は標高約223.5mで出坪第1湧泉 (D-1) の水面 (標高225m) よりも低い位置にあるが、測量誤差を考慮すると宙水ではなく石灰岩体内の地下水面を示すと考えられる。しかし最奥部プールでは水の動きはほとんどないことから、犬上川地下水系の主流路は地下水面下に降下して深泥ヶ池洞窟の下を潜り、出坪第1湧泉に向かって上昇する全体にU字形の飽和帯ループ群 (phreatic loops) (Ford, 1965, 1968) を形成する深部飽和帯洞窟系 (bathypheatic cave

system) (Ford & Ewers, 1978) であることが推定される。

謝 辞

影林靖雅氏を中心とする鈴鹿プロジェクトの関係者ならびに滋賀県多賀町には現地調査においてご協力いただいた。須佐見吉生氏には近畿地方の洞窟についてご教示いただいた。追手門学院大学西川喜朗教授、大阪経済法科大学沢勲名誉教授、故大橋健教授、愛媛大学鹿島愛彦名誉教授には研究全般にわたってご指導いただいた。これらの方々に深く感謝する。

文 献

- Ford, D.C., 1965. The origin of limestone caverns : a model from the central Mendip Hills, England. *Bulletion of the National Speleo Logical Society*, 27, (4), 109-32.
- Ford, D., 1968. Features of cavern development in central Mendip. *Transactions of Cave Research Group of Great Britain*, 10, (1), 11-25
- Ford, D.C. and Ewers, R.O., 1978. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 15, 1783-98.
- Ford, D.C. and Williams, P.W., 1989. *Karst geomorphology and hydrology*. 601p. Unwin Hyman.
- 藤原岳自然科学館（編），1976. 篠立風穴自然科学調査報告書. 168 p. 藤原岳自然科学館.
- 藤原岳自然科学館（編），1984. 鈴鹿山脈北部石灰岩地域自然科学調査報告書（I）. 279p. 藤原岳自然科学館.
- 本田幸雅・影林靖雅・水島明夫，1989. 多賀町の石灰洞. 水島明夫（編），多賀町の石灰洞. 58-63. 滋賀県多賀町.
- 磯部 克，1984. 御池岳山頂付近に分布するドリーネについて（短報）. 藤原岳自然科学館（編），鈴鹿山脈北部石灰岩地域自然科学調査報告書（I），5-7. 藤原岳自然科学館.
- 岩崎，1909. 豊前三ノ岳附近平尾臺のカルスト. 地學雜誌，21, [245], 374-75. 東京地學協會.
- Jones, W.K., 1984. Dye tracer tests in karst areas. *The NSS Bulletin*, 46, (3), 3-9. National Speleological Society.
- 小池一之，2004. 鈴鹿山地. 太田陽子・成瀬敏郎・田中眞吾・岡田篤正（編），日本の地形6 近畿・中国・四国，42-43. 東京大学出版会.
- 宮村 学・三村弘二・横山卓雄，1976. 彦根東部地域の地質. 地域地質研究報告（5 万分の1 地質図幅）. 49p. 地質調査所.
- 新帯國太郎，1918. 近江のカルスト. 地學雜誌，30, [354], 370-75. ;[355], 438-46. 東京地學協會.
- 太田陽子，2006. 両白山地主部（能郷白山 - 伊吹山）. 町田 洋・松田時彦・海津正倫・小泉武栄（編），日本の地形5 中部，289-90. 東京大学出版会.
- 霊仙洞窟調査隊，1984. 彦根東部地域石灰洞調査報告. 藤原岳自然科学館（編），鈴鹿山脈北部石灰岩地域自然科学調査報告書（I），155-203. 藤原岳自然科学館.
- 霊仙洞窟調査隊・ひみず会，1989a. 洞窟記載. 水島明夫（編），多賀町の石灰洞. 64-99. 滋賀県多賀町.
- 霊仙洞窟調査隊・ひみず会，1989b. 測図. 水島明夫（編），多賀町の石灰洞. 101-41. 3 figs. 滋賀県多賀町.
- 佐野弘好・小嶋 智，2000. 美濃 - 丹波 - 足尾テレーンの石炭～ジュラ系海洋性岩石. 地質学論集，(55)，

- 123-44. 日本地質学会.
清水 実, 1984. はじめに. 藤原岳自然科学館 (編), 鈴鹿山脈北部石灰岩地域自然科学調査報告書 (I), 2-3. 藤原岳自然科学館.
武内正夫, 1991. 近畿地方の地質構造と石灰岩の分布. 日本洞窟協会 (編), 近畿地方の洞窟 - 洞川地区を中心として -, 1-3. 日本洞窟協会.
浦田健作, 1987. 原石山石灰岩体における犬上川地下水系. ケイビング情報 IN 九州, (18), 46-47. Caving Information Centre.
Urata, K., 2009. Formation of the Hirao-dai karst system, Fukuoka Prefecture, Japan. *Bulletin of the Akiyoshi-dai Museum of Natural History*, (44), 5-45.
山縣 毅, 2000. 鈴鹿山脈北部, 美濃帯の海洋性岩石の混在. 地質学論集, (55), 165-79. 日本地質学会.
山崎直方, 1906. 秋吉臺のカルストに就きて. 地質學雜誌, 13, [157], 337-44, 2figs. 東京地質學會.

近江カルスト、佐目石灰岩体に発達する犬上川地下水系（浦田・近藤・吉村）

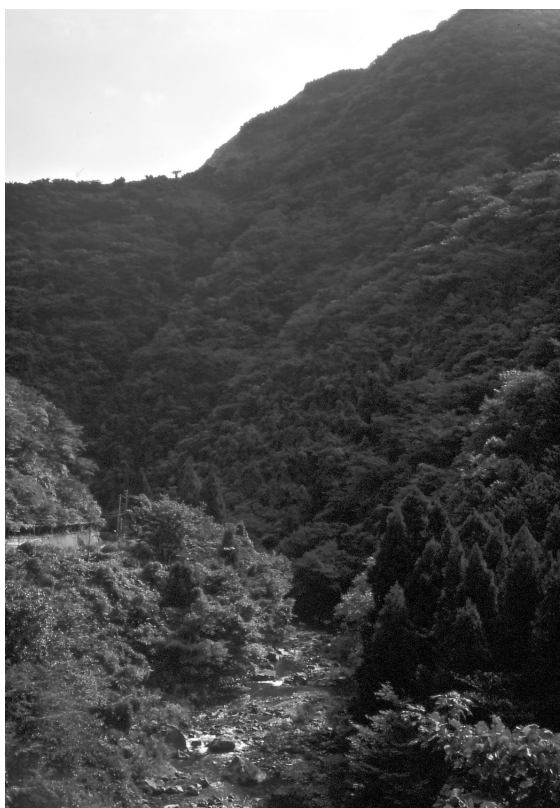


写真1. 佐目こうもり穴付近の犬上川峡谷.

Photo 1. Inukami-gawa gorge at Same koumori-ana.



写真2. 大君ヶ畑吸込 (左側が上流).

Photo 4. Ojigahata sink (the upper stream is left side).



写真3. 出坪上流の犬上川枯谷.

Photo 3. Dry valley of Inukami-gawa R. at the upper stream of Detsubo springs.



写真4. 出坪第1湧泉.

Photo 2. Detsubo no. 1 spring.