栃木の新第三系：荒川層群中部の層序と化石および大谷地域の応用地質学*

The Neogene Strata in Tochigi: Stratigraphy and Fossils of the middle part of the Arakawa Group and Engineering Geology of the Oya District

松居誠一郎¹ 山本高司²

柏村勇二³ 布川嘉英³

青島睦治³

*Seiichiro Matsui¹, Takashi Yamamoto²,
Yuji Kashiwamura³, Yoshihide Nunokawa³
and Mutsuharu Aoshima³*

受付：2011年4月25日

受理：2011年7月12日

*日本地質学会第118年学術大会(2011年・水戸)
見学旅行(F班)案内書

1. 宇都宮大学教育学部

Faculty of Education, Utsunomiya University,
Mine 350, Utsunomiya 321-8505, Japan

2. 川崎地質株式会社

Kawasaki Geological Engineering, co., Ltd., 2-11-
15 Mita, Minato, Tokyo, 108-8337, Japan

3. 栃木県立博物館

Tochigi Prefectural Museum, 2-2, Mutsumi-cho,
Utsunomiya 320-0865, Japan

Corresponding author: S. Matsui

E-mail: matsui@cc.utsunomiya-u.ac.jp

概要

荒川層群は栃木県東部の八溝山地に沿って分布する海成中新統である。近年、微化石や放射年代の研究が進展し、本層群は中・上部中新統であることが明確になった。また豊富に産出する貝化石について古環境復元や生物地理的研究が行われている。一方、宇都宮市周辺には、やはり中新統である火砕岩類とその上位の海成堆積物が観察される。このうち火砕岩類は大谷石として有名で、優れた耐火性などのため石材として重用されてきた。一方で、採掘跡の陥没・産業廃棄物投棄に伴う地下水汚染等の地盤災害が問題になっている。こうした問題に対処するため、最新の物理探査手法による採掘跡地の調査と、地震計による安全確保のためのモニタリングが継続されている。今回の見学旅行では、貝化石の多い荒川層群中部において化石の産状を観察し、また大谷石採掘現場で陥没などの調査状況を見学し、採掘跡地におけるボーリングのコア試料を観察する。

Key Words

荒川層群, 貝化石, 大谷層, 地下空洞, 地下空洞地質調査

Arakawa Group, mollscan fossils, Oya Formation, underground mining cavity, geological survey of underground cavities

地形図

1:25,000 「仁井田」「下野小川」「馬頭」「大谷」

見学コース

8:00 JR 水戸駅前→那須烏山市大金→那珂川町馬頭→宇都宮市大谷→18:00 JR 宇都宮駅(解散)

見学地点

Stop 1 (北緯 36 度 39 分 56 秒, 東経 140 度 6 分 24 秒)	那須烏山市十二口 大金層中部の凝灰岩層と化石密集層
Stop 2 (北緯 36 度 44 分 54 秒, 東経 140 度 8 分 11 秒)	那珂川町吉田 大金層相当の粗粒相
Stop 3 (北緯 36 度 35 分 60 秒, 東経 139 度 49 分 29 秒)	大谷資料館 大谷石採石空洞跡
Stop 4 (北緯 36 度 36 分 7 秒, 東経 139 度 49 分 32 秒)	大道寺石材店跡地 大谷層ボーリングコア・空洞探査機器
Stop 5 (北緯 36 度 35 分 22 秒, 東経 139 度 49 分 34 秒)	大谷観測所 大谷石採取場跡地観測システム

はじめに

今回の巡検では栃木県中部の中部中新統のなかから、貝化石の多い大金層中部と、石材として有名で、近年は採石空洞の陥没が問題となっている大谷層の観察を行う。

大金層は栃木県西部の八溝山地西側に沿って分布する荒川層群の中部に位置する。荒川層群の貝化石については Hirayama (1954, 1967), Kanno (1961), 古沢ほか (1987) が報告している。また柏村 (未公表) は荒川層群の貝化石群の層序の変遷を明らかにした。最下部の群集は温暖な種類を主体とするが、上位に向かい急激に寒冷な群集に移行する。この寒冷群集は中期中新世を代表する沖合性の耶麻動物群の要素を主体に、層準によっては浅海性塩原動物群の要素が混在している。今回観察する大金層中部では上下の地層に比べて浅海環境を好む種類が化石密集層を形成し、産状や古環境のうえで興味を持たれる。

大谷層は宇都宮市大谷地域に分布し、宇都宮丘陵にも大谷層に対比される地層として長岡層および山本層 (阿久津, 1953) が分布することから、高橋・吉川 (2008) により大谷層に一括して再定義されている。大谷層は軽石質凝灰岩を主に構成されるが、均質で加工しやすいことから“大谷石”と呼ばれ、良質の石材として採掘されてきた。採掘方法も露岩を直接に採掘する露天掘りから、需要の拡大に伴い機械を利用した地下数十 m の坑内掘りになってきた。その結果として、1989 年 (平成元年) に大谷町坂本地区で 2 回の大規模な陥没事故 (東西 115 m, 南北 130 m) を起こした。今回は、大谷地域の採石空洞跡 (大谷資料館) の大きさを体感するとともに、採石空洞分布を確認するために実施されたボーリン

グコアにより大谷層の層相変化を観察する。さらに、地下空洞の探査機器を利用した地質調査、大谷採石場跡地に設置された地震計を利用した観測システムを見学する。

地質概説

栃木県の西部には主に中・古生界と第四紀火山岩から構成される足尾・日光・那須の山地が、東部には中生代からなる八溝山地がある。東西の山地の間は陸成の更新統・完新統に埋積されている。中新統は山地と平野の間の丘陵地帯から山地の一部に分布している。中新統の主要な分布域は、県東部の黒羽から小川・馬頭、烏山・大金を経て茂木、益子に至る地域と、県西部の鬼怒川上流部、塩原、矢板、宇都宮・大谷、鹿沼、岩舟などの地域である。これらの中新統は下部が火山岩、火山碎屑岩主体で、上部は主に海成堆積物からなる。今回は東部の小川・馬頭と烏山・大金地域に分布する海成堆積物、および西部の宇都宮・大谷地域の火山碎屑岩を観察する (Fig.1)。いずれも中部中新統である。

これらの地域の中部中新統の層序については、高橋 (2008), 高橋・吉川 (2008), 吉川ほか (2010) など、最近の総説がある。ここでは今回の観察に関連する部分を主体に説明する。

1. 烏山・大金および小川・馬頭地域

烏山・大金から小川・馬頭に至る地域の中部中新統は河田 (1948) によって荒川層群と命名され、Kawada (1953) が詳しく記載し、下位から小塙層、大金層、田野倉層から構成されるとされた。その後、酒井 (1986) および酒井・天野 (1986) は田野倉層最上部を入江野層として分離した。酒井

Fig. 1 Geological outline of the field trip area. Modified after Sakai (1986), Kubo *et al.* (2007), Yoshikawa *et al.* (2010)

(1986) は多数の凝灰岩を識別した上で、本層群の詳細な層序を記載した。この層序的枠組みは、その後の化石組成、放射年代などの研究で利用されている。

荒川層群を構成する各累層の層序概要は以下のようである (Fig.2)。ここで用いた岩相層序単位や鍵層は酒井 (1986) に従った。

(1) 小埦層

本層の基底は細礫～中礫の礫岩層で下位の下部中新統中川層群を不整合に覆っている。下部は含礫質粗粒砂岩、石灰質砂岩などの粗粒堆積物を主体とするが、泥質砂岩や砂質泥岩

などの細粒堆積物もみられる。石灰質砂岩中には貝類や腕足類などからなるコキナがみられる。

中部は石灰質砂岩、泥質砂岩を主体とし、厚さ 10m 前後と十数 m の 2 枚の軽石質凝灰岩 {下部森田軽石凝灰岩部層 (LM-PT) : Kb-8, 上部森田軽石凝灰岩部層 (UM-PT) : Kb-12} のほか、細粒ないし粗粒凝灰岩 (本稿では凝灰岩の粒度について、シルトサイズかそれより細かい火山灰からなるものを細粒、砂サイズの火山灰ないし火山礫からなるものを粗粒とする) や軽石質凝灰岩を数枚挟む。

上部は泥質砂岩を主体として、厚さ数 m の凝灰岩層 3 枚 {鎌瀬倉凝灰岩部層 (Km-T) : Kb-20, 万行凝灰岩部層 (Mn-T-a, Mn-T-b) : Kb-27, Kb-28} のほか、細粒ないし粗粒凝灰岩や軽石質凝灰岩を頻繁に挟む。最上部付近の凝灰岩 (Kb-30) は火山豆石を含む。

(2) 大金層

大金層下部は泥質砂岩から砂質泥岩、泥岩へと漸移し、細粒凝灰岩や軽石質粗粒凝灰岩を数枚はさむ。泥岩部は高瀬頁岩部層 (Tk-Sh) とよばれ、風化面は数 cm 角の小片に割れ大金層の中で特異な岩相である。

本層中部は、厚さ数 m の軽石質凝灰岩や砂質凝灰岩、その上位の厚さ数 m の砂質泥岩の組合せからなるユニットが 3 回繰り返して積み重なり、その上位は砂質泥岩が重なる。各ユニットの砂質泥岩下部に貝化石層が含まれる。酒井 (1986) は下位より下部大金貝化石層 (OGL), 中部大金貝化石層 (OGM), 上部大金貝化石層 (OGU) と命名した。貝化石層は 1～3 層の密集層 (厚さ 10～20 cm) と、その周辺の多産部 (厚さ 10～数十 cm) からなる。凝灰岩下部は細礫を含む粗粒凝灰岩で、上位に向かって細粒化している。

本層上部は、泥岩・軽石質砂質凝灰岩・細粒ないし粗粒凝灰岩・珪藻質砂質泥岩・灰緑色の硬質泥岩の順で重なる。

(3) 田野倉層

田野倉層は珪藻質泥岩を主とする。細粒ないし粗粒凝灰岩や軽石質凝灰岩をよく挟み、中部および上部では葉理の発達したものも多い。最下部付近には厚さ十数 m の砂岩層 {本郷砂岩層 (Hg-S) : Tn-5}, 上部には厚さ数 m の砂岩層 {朝風砂岩部層 (As-S) : Tn-40} が挟まる。

(4) 入江野層

入江野層は主に泥質砂岩からなり、数枚の葉理のみみられる細粒凝灰岩層を挟む。下部は厚さ十数 m の凝灰岩と凝灰質砂岩の互層 {下埦凝灰質砂岩部層 (Sh-S) : Ir-1} で、最下部付近には火山豆石がみられる。

Fig. 2 Lithology, marker tephra, radiometric ages and biozones of the Arakawa Group. See Fig. 3 for symbols of lithology. Symbols of marker tephra after Sakai (1986). Radiometric ages: (1) K-Ar age after Takahashi *et al.* (1999); (2) K-Ar age after Takahashi (2008); (3) K-Ar age, after Takahashi *et al.* (2000); (4) ^{40}Ar - ^{39}Ar age after Odin *et al.* (2001). A: planktonic foraminiferal zone after Hayashi and Takahashi (2000). B: calcareous nannofossil zone after Tanaka and Takahashi (1998). C: radiolarian zone after Sugie (1993). D: diatom zone after Yanagisawa (2003) and Yanagisawa and Takahashi (pers. comm.)

2. 宇都宮・大谷地域

宇都宮周辺の中中新統については新野 (1933a, b) 以来研究されてきた。宇都宮市大谷付近に分布し、大谷石として採掘される軽石質凝灰岩を主とする地層は太田 (1949) によって大谷層と呼ばれた。一方、大谷地域より東にある宇都宮丘陵では、阿久津 (1953) によって下位から横山層、長岡層、山本層、大曾層の区分が提唱された。吉川ほか (2010) は長岡層、山本層を大谷層に統合した。ここでは吉川ほか (2010) の区分に従って層序を説明する。

(1) 横山層

宇都宮丘陵に分布し、下位の火山岩類を不整合に覆う。礫岩、凝灰質砂岩、凝灰岩などからなる。層厚は約 50 m。

(2) 大谷層

大谷地域では茗荷沢層を不整合に、また宇都宮丘陵では横山層を整合に覆う。大谷地域の層は、流紋岩質火山礫凝灰岩・凝灰岩、凝灰質砂岩・シルト岩からなる。大谷地域では、中位層準に連続性の良い凝灰質砂岩が認められ、吉川 (1998) はこの砂岩の上限を基準に大谷層を下部と上部に分けている。下部は主に流紋岩火山礫凝灰岩・凝灰岩、凝灰質砂岩の互層からなり、ときに礫岩を挟在する。上部は“大谷石”として採掘された厚い軽石火山礫凝灰岩よりなる。

(3) 大曾層

宇都宮丘陵南端とその南西方の鶴田付近の残丘に分布する。大谷層を整合に覆う。砂岩と砂質シルト岩を主体として凝灰岩を挟む。貝類などの化石を含み、また後述のように年代査定に有効な微化石が発見されている。

3. 地質年代

荒川層群では Fig. 2 に示すように放射年代および、浮遊性有孔虫、石灰質ナノ化石、放散虫、珪藻の生層序が検討されている。これらの結果によると小塙層と大金層下部は中部中新統、大金層中部から田野倉層、入江野層は上部中新統である。

宇都宮地域の大谷層上部からは Blow の N.10-12 帯の浮遊性有孔虫が発見されている (布川ほか, 2004)。一方大曾層は N.9 に属する (青島, 1985)。また大谷層と大曾層においてはいくつかの放射年代測定が行われている (吉川ほか, 2010)。吉川ほか (2010) が指摘するように、これらの年代データにはお互いに矛盾する部分がある。しかし、大谷層と大曾層が全体として中部中新統下部に属し、荒川層群の中では小塙層下部に対比されることは確かであろう。

荒川層群の貝化石群集

荒川層群のうち大金層下部の高瀬貝岩部層 (Tk-Sh) と大金層上部の泥岩、田野倉層下部から中部の珪藻質シルト岩では、貝化石の産出は極めて稀である。これらを除いた層準では、貝化石は層序的によく連続して得られる。柏村 (未公表) は、荒川層群中に 8 群集を認めた (Fig. 3)。

細粒堆積物中の貝化石の多くは殻の摩耗や破砕がみられない。殻のサイズはばらつき、淘汰されていない。二枚貝の多くは合弁で産出する。こうしたことから、死後あまり移動することなく化石化したと考えられ、化石群集の多くは、生息時の組成をかなりよく保存しているようである。すなわち化石群集組成は、生物群集のそれを反映するであろう。一方、粗粒岩から産する貝化石は保存が悪いものが多いなどの理由から、死後、海底で水流によって移動、混合された可能性が考えられる。しかし、これらのサンプルも組成上一貫した群集を構成し、また特定の堆積相中に限って産するので、特定の環境に生息した生物群集に対応する可能性が高い。

古生物地理的性格

荒川層群の貝化石群集には、鎮西 (1963) のいう門ノ沢動物群、塩原・耶麻動物群の性質のもの、および塩原・耶麻動物群と大桑・万願寺動物群の中間的性質をもつものが認められる。

小塙層下部の *Nipponopecten* - *Ostreidae* 群集の *Nipponopecten akihoensis* (Matsumoto) と、*Chlamys iwamurensis* 群集の *Chlamys* cf. *arakawai* Masuda は、東北日本各地で門ノ沢動物群の粗粒砂礫岩相を特徴付ける種である。*Ch. iwamurensis* 群集の *Ch. iwamurensis* Itoigawa は、瑞浪や能登地域で、やはり門ノ沢動物群の粗粒砂礫岩相の群集の要素として産する。荒川層群では門ノ沢動物群に最も特徴的な *Vicarya* 等からなる群集は知られていない。しかし、これら 3 種が群集の主要構成種として多産することから、これら 2 つの群集は門ノ沢動物群に属するであろう。

小塙層中部～大金層下部の *Gloripallium crassivenium* - *Fissidentalium* 群集は *Cyclocardia siogamensis* (Nomura), *Thracia* sp., *Neptunea hukusimensis* Nomura & Hatai など塩原・耶麻動物群を特徴付ける要素を含む。

大金層中部の *Lucinoma* - *Clinocardium* 群集は塩原・耶麻動物群に位置付けられる。すなわち、*Anadara ninohensis* (Otuka), *Phos iwakianus* (Yokoyama) は沿岸性の塩原動物群を、*Serripes groenlandicus* (Bruguère), *Neptunea koromogawana*, *Buccinum* sp. は沖合性の耶麻動物群をそれぞれ代表する種である。また、両動物群の中間的環境を特徴付ける *Cultellus izumoensis* (Yokoyama), *Lucinoma acutilineata* (Conrad), *Macoma optiva* (Yokoyama), *Mya cuneiformis* (Böhm), *Panomya simotomensis* Otuka など多産する。本群集を含む 3 層準の貝化石層の種組成や産出頻度には地理的変化が認められる。沿岸性の *A. ninohensis* の産出頻度は貝化石層分布域南部の曲田や塩田 (Fig. 4) で高く、中部の高瀬や十二口では低い。塩田の貝化石層は *L. acutilineata* や *Clinocardium* sp. を産せず、*Dosinia* cf. *kaneharai* Yokoyama, *Mercenaria* cf. *yokoyamai* (Makiyama), *Glycymeris* sp. などの沿岸性の貝化石からなる独自の群集を構成する。このことから本層中部の堆積時は、堆積盆の中に異なる環境があり、それを反映して貝類の分布も異なっていたと考えられる。このことは、塩原動物群と耶麻動物群が、環境の違いによる同時異相を示すという鎮西 (1963) の見解を支持する。

大金層中部から上部にかけての *Panomya* - *Neptunea* 群集は、下位の *Lucinoma* - *Clinocardium* 群集と同様に塩原・耶麻動物群に位置付けられる。

田野倉層中部の *Acharax* - *Nuculanidae* 群集は化石の保存が悪く種レベルでの同定ができたのは *Acharax tokunagai* (Yokoyama) と *Lucinoma acutilineata* の 2 種だけである。この 2 種は中新統の沖合相にしばしば出現する組み合わせである。

田野倉層上部と入江野層の 2 つの群集は、*Cultellus izumoensis*, *Chlamys kaneharai* (Yokoyama), *Mercenaria yokoyamai*, *Anadara* cf. *ninohensis* など塩原・耶麻動物群を特徴付ける種のほか、大桑・万願寺動物群の要素である *Cyclocardia* cf. *ochiaiensis* を含む。また、両動物群に共通な

Fig. 3 Stratigraphic change of relative abundance of molluscan species in the Arakawa Group.

Lucinoma acutilineata, *Mya cuneiformis* も多産することから、これら2つの群集は、塩原・耶麻動物群と大桑・万願寺動物群の中間的性質あるいは漸移的性質を持つと考えられる（古沢ほか，1987）。

本見学旅行で観察する地層

1. 大金層中部の貝化石層の分布

大金層中部では、厚さ数 m の軽石質凝灰岩や砂質凝灰岩と、その上位の厚さ数 m の砂質泥岩の組合せからなるユニットが3回繰り返して積み重なり、各ユニットの砂質泥岩下部

に貝化石層（下位より OGL, OGM, OGU）が含まれる。市貝町塩田から北へ那須烏山市十二口まで約 6 km に渡ってこれら3層準の貝化石層が確認され、十二口より 3 km 北の那須烏山市熊田では OGL を除く上位の2層が観察される（Fig.4）（高井，1990）。

那珂川町吉田付近に露出する、軽石質粗粒凝灰岩や凝灰質石灰質砂岩などの粗粒相は、古くから Pectinidae の多産で知られ（Masuda, 1962 など）、吉田貝層と呼ばれている。

吉田貝層の凝灰質石灰質粗粒相は、荒川周辺の荒川層群模式断面には見られない岩相である。吉田貝層の上位は自生的

貝化石を含む砂質泥岩におおわれ、これは大金層中・上部の岩相に類似することから、吉田貝層は大金層中に地域的に挟まれる粗粒相の可能性が高い。大金層が露出する那須烏山市熊田から吉田貝層までの7kmほどの間は露頭が乏しく、地層の連続性を直接確認することができていないが、ここでは岩相と凝灰岩層の比較から吉田貝層の層位について検討する。大金層の中で吉田貝層と比較できる程度に軽石に富み厚さが数m以上の凝灰岩層は、中部のOGL下のOg38、OGU下のOg42、および上部の岩子凝灰岩部層(Og52)の3層準に限られる。このうち中部のOGUの上位には自生的貝化石を含む砂質泥岩が重なり、これは吉田貝層上位の砂質泥岩に類似する。一方、岩子凝灰岩は泥岩に挟まれる厚さ十数mの凝灰岩で、泥岩から貝化石は全く得られない。このように周辺の岩相について見ると吉田貝層は大金層中部のOGLやOGUに類似する(柏村, 2011)。また次項で述べるように、吉田貝層下の凝灰岩の鉱物組成はOGU下のOg42のそれと一致するが、OGL下位のOg38とは異なる。

このようなことから、吉田貝層はOGUと同一層準である可能性が高い。柏村(2011)は吉田貝層の主要貝化石組成はOGL～OGUとは著しく異なるが、随伴種についてはOGU

と多少の類似性があることを認めている。

2. 大金層中部の軽石の鉱物組成

上述のように軽石を多く含む大金層中の凝灰岩は中部のOGL下のOg38、OGU下のOg42、および上部の岩子凝灰岩部層(Og52)の3層準である。今回試料の得られなかった岩子凝灰岩部層を除く、Og38とOg42の鉱物組成を調べた。吉田・十二口・大里で軽石質凝灰岩を採取し、各試料から軽石を抽出して乳鉢で砕き、ふるい分け(60メッシュ, 120メッシュ)を行ったのち双眼実体顕微鏡で検鏡した。各地点の柱状図および試料採取層準をFig.5に示す。

吉田(小川・馬頭地区): 全体的に中～粗粒砂岩層と軽石の密集する砂岩層が繰り返す互層となっている。粗い軽石が集中する部分はほぼ礫(軽石)支持で、粒径は10cmを超えるものも少なくない。軽石の多くは円磨されている。吉田ではY-01～08の8層準からサンプルを採取した。Y-01～02は砂がちの斜交層理にはさまる軽石層、Y-03は斜交層理をなす中粒砂層、Y-04～08は軽石がち粗粒砂互層中の軽石密集部から採集したものである。なお、Y-03、Y-07は軽石と基質を分離できないため検鏡試料から除外した。いずれのサンプルも、軽石には石英・長石が豊富に含まれるほか、有色鉱物に輝石および磁鉄鉱が確認できる。また、基質の砂には軽石に含まれる鉱物の他、風化した黒雲母が含まれる。

十二口(烏山・大金地区): 3層の貝化石密集層(OGL, OGM, OGU)のうちOGU下のOg42から、J-01～11を採取した。大金層は泥質砂岩を主体とする地層で、しばしば軽石層が挟まれる。特にOGUの下には層厚8m以上の軽石層(Og42)があり、径3cm±が主体だが、上部では粗粒のものが多く径10cm以上のものもある。11サンプルのうちJ-06～10はOg42から採取したものである。J-06, 07, 08, 10の軽石を抽出し、これらに含まれる鉱物を検鏡した。これらの軽石には石英・長石の他、輝石・磁鉄鉱が含まれる。また、基質の砂には黒雲母が含まれる。

大里(烏山・大金地区): 貝化石密集層(OGL)直下の層厚8m±の軽石質凝灰岩(Og38)からO-01を採取した。軽石の輪郭は明瞭でなく、基質との分離が難しいため両者が混在した試料を検鏡した。この軽石および基質には石英・長石は含まれるが、輝石は確認できず、磁鉄鉱以外に目立った有色鉱物は含まれない。

以上をまとめると、吉田と十二口のOg42は共通して斜方輝石・単斜輝石・磁鉄鉱を含む。一方、大里のOGL下のOg38は、斜方輝石・単斜輝石を含まず、磁鉄鉱が少量認められるだけで、吉田の軽石試料とは組成が異なる。

3. 大金層中部の貝化石産状

大金層中部の貝化石層は*Lucinoma* - *Clinocardium* 群集としてまとめられる(柏村, 未公表)。

この群集は大金層中部の3層準の貝化石層とその直上・直下の層準に産する(Fig.6)。貝化石層は泥質砂岩を主体とし、それ以外の層準は砂質泥岩から泥岩である。

3層準の貝化石層はいずれも1～3層の密集層(厚さ10～

Fig. 4 Geographic distribution of the OGU shell bed in the Karasuyama-Ogane area and the Yoshida shell bed in the Ogawa-Bato area.

Fig. 5 Columnar sections of the Yoshida shell bed, Og42 at Junikuchi and Og38 at Osato showing sampling horizons of pumiceous tuff.

20 cm) と、多産部 (厚さ 10 ～数十 cm) からなる。この密集層と多産部では、産状や群集構成種の産出頻度がそれぞれ異なる。大金層中部の貝化石は殻物質を残すものは少なく、ほとんどが印象化石である。いずれの層準でも化石の保存は概して良好で、殻の摩耗や破碎を受けたものは稀である。貝化石の産出密度は、密集層で平均して露頭面 0.1m^2 あたり約 50 個体 (離弁の二枚貝も 1 個体としてカウントした)、多産部で 8 個体程度である。

本群集は *Lucinoma acutilineata* と *Clinocardium* sp. の多産で特徴付けられる。*L. acutilineata* はいずれの層準でも普遍的に得られる。*Clinocardium* sp. は密集層で最優占種であるが、多産部では稀である。3 層準の貝化石層での主要な随伴種は *Anadara ninohensis*, *Macoma optiva*, *Mya cuneiformis* などだが、産出頻度は平均するといずれも 10% に満たない。OGL は種の多様性が低く、上記 5 種以外の産出は稀である。OGM および OGU は種の多様性が高く、上記 5 種のほかに *Acila*

Table 1 Mafic mineral composition in pumice. See Fig.5 for stratigraphic levels of the samples. +++: abundant, ++: common, +: few, -: none.

Loc. tuff	Yoshida						Junikuchi Og42				Osato Og38
	Y-01	Y-02	Y-04	Y-05	Y-06	Y-08	J-06	J-07	J-08	J-10	O-01
Opx	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++	+++	-
Cpx	++	++	+	++	++	+	+	+	+	++	-
Mgt	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fig. 6 A schematic sketch of occurrence of molluscan fossils in the OGM shell bed at Junikuchi.

divaricata, *Cultellus izumoensis*, *Phos iwakianus* など約 20 種の貝化石が産する。これらの種は密集層と多産部で共通して得られる。

密集層で産する二枚貝の約 80% は離弁である。離弁の二枚貝は、殻の凸部を下に向ける (convex downward) 傾向が強い。密集層の二枚貝化石のうち 50 ~ 60% が、このような産状を示す。この傾向は密集層の基底部で著しく、ここでは二枚貝化石の約 70% が、convex downward である。このような産状は、水の流れに対して不安定であり、貝化石の密集層としては特異な産状である。このほか、密集層には合弁の二枚貝が約 20% 含まれるほか、離弁としてカウントしたものの中には殻がずれたものや、殻頂部で接合して開いた状態のものもみられる。これら密集層中の貝化石は、殻の破碎や摩耗がほとんど認められない。

多産部で産する二枚貝の約 90% は合弁である。合弁の二枚貝の多くは層理面に対しほぼ垂直に立ち、生時の姿勢を保ったまま化石化したと思われる。こうした自生的産状を示すのは、*Lucinoma acutilineata*, *Cultellus izumoensis*, *Mya cuneiformis* などである。

密集層から産する貝化石は、次の点から自生であったと考えられる。

- ① 殻が破碎された貝化石は稀である。
- ② いずれの産地、層準においても産出化石の殻のサイズにば

らつきがみられ、淘汰されていない。

- ③ 同層準の貝化石層の含泥率は 30 ~ 70% で、調査地によって異なる。種の産出頻度の地理的変化は、こうした底質の違いによると考えられる。

- ④ 貝化石層の基質に粗粒堆積物が少ない。

- ⑤ 貝化石層を含む砂質泥岩 ~ 泥質砂岩には、全体に生痕がみられる。

これらのことから、大金層中部の貝化石層は、流れ込みにより殻が集積して形成されたとは考えられない。3 層準の貝化石層の下位には、厚さ数 m ~ 十数 m の凝灰岩があり、これらが短期間に積もったことで一時的に浅海化し、生物活動が活発化したことにより貝化石層が形成されたのではないだろうか。

大金層中部の貝化石層の密集層の数や産出密度、種組成や産状には、地理的な変異が認められる (高井, 1990, 柏村, 2011)。例えば OGM の密集層の数は、十二口では 3 枚だが、十二口よりも南方では、2 枚から 1 枚へと減っていき、産出密度も低くなる傾向がある。曲田から熊田にかけての分布域では、随伴種の組成や産出頻度に差異が認められるが、主要構成種の組成や産出頻度および化石層全体の産状に大きな変異はみられない。一方、大金層中部の貝化石層の分布が確認されている最南端の市貝町塩田では、OGU は礫質粗粒砂岩層の中にみられ、*Dosinia cf. kanearai*, *Mercenaria cf.*

Fig. 7 Geological map of the Utsunomiya District. Modified after Takahashi and Yoshikawa (2008). Kz: Kazamiyamada Formation, Oy: Oya Formation, Oz: Ozo Formation.

yokoyamai, *Glycymeris* sp. など他の調査地と共通しない浅海域の貝化石が散在している。また、OGU と同じ層準と思われる吉田貝層の軽石質粗粒砂岩は *Miyagipecten matsumoriensis* Masuda や *Patinopecten paraplebejus*, *Chlamys miyatokoensis* Nomura & Hatai, *Chlamys otukae* Masuda & Sawada など の Pectinidae を多産し、フジツボの破片やウニのとげなどと共にコキナを形成している。塩田と吉田の貝化石層はともに粗粒堆積物中にあり、二枚貝のほとんどは離弁で産する他生型である。

4. 大谷層の分布

大谷層は、宇都宮市の西方大谷地域および宇都宮丘陵に広く分布する (Fig. 7)。従来、宇都宮丘陵地域で長岡層、山本層 (阿久津, 1953) と呼ばれた地層も年代的研究から同時代に形成されたことが明らかになっている (吉川, 1998)。大谷層は流紋岩質の火砕岩、溶岩および貫入岩と凝灰質砂岩、安山岩、デイサイト貫入岩からなる。特に、大谷地域では軽石片が発泡した軽石質凝灰岩が「大谷石」として採石されており、多くの石材として利用されてきた。

5. 採石としての大谷石の名前

大谷石で知られる凝灰岩は、粒度・色調・岩片・硬さにより採掘上の呼び名が与えられている。例えば、粒度や“みそ” (変質した軽石) の量による細目・中目・荒目、色調による白目・青目・虎目、岩片の種類による砂目・青つぶ・小砂利・黒つぶといったものである。

また、大谷石の層準を決めるのに凝灰岩中に含まれる“みそ”と呼ばれるものがある。これは、軽石の一部または全体が選択的にスメクタイト化したもので、火山灰中の鉄苦土鉱物 (黒雲母・輝石・角閃石) の成分が続成作用、溶結過程で移動・濃集したものと考えられている。この“みそ”は側方へ連続することから、濃集部を“通り”と称して採石位置の目安としている。なお、良質の石材とされる細目・中目は“みそ”の大きさが小さく比較的均質に入っているもので、その風合いから高価とされる。

6. 大谷層の地下地質層序

大谷地域では露岩部が限られており、大谷層の連続した観察が困難である。1989 年の大谷地域での採石空洞の陥没以降、採石場の空間的分布が明確でないことが安全管理上、大きな問題となった。そこで、栃木県・財団法人大谷地域整備公社・通商産業省関東通商産業局が採石跡地のボーリング調査・物理探査を実施し、空洞の実態を調査してきた。この間に実施された既往の地質資料 (ボーリング・空洞調査) をもとに、大谷地域に限定した地下地質層序を取りまとめた (財団法人大谷地域整備公社, 1997, 正木・山本, 1997)。ここでは、凝灰岩を浅部から深部にかけてローマ数字でⅠ～Ⅷ層、凝灰岩中に挟まれる泥岩、泥岩・凝灰質砂岩の互層を S1～S4 に細分している。ボーリングコアは新鮮な岩質を観察できることから、露頭よりも詳細に区分できている。以下に、各岩相の特徴を示す。なお、ここでは土木調査報告とし

て上位 (浅部) より番号が付けられている。層厚は、ボーリングで確認された厚さをもとにしている。S1 層は大谷層を整合に覆う大曾層。Ⅰ層～Ⅴ層が大谷層上部、S2 層以深が大谷層下部に相当すると考えられる。

S1 層

岩相: 泥岩、砂岩、凝灰質砂岩からなる。全体に泥岩主体で細粒砂岩の薄層を挟み、生物擾乱が認められる。下位のⅠ層由来と考えられる白色の丸みを帯びた軽石が点在する。

層厚: 80 m +

分布: 地表では坂本陥没跡地のみである。瓦作街道沿いの第四紀層直下に分布する。

Ⅰ層

岩相: 白色の軽石を多く含む軽石質凝灰岩からなる。下部では“みそ”の混入が認められる。

層厚: 5～50 m

分布: 地表部では分布しない。坂本・瓦作・駒生・下荒針地区の第四紀層直下に分布する。

Ⅱ層

岩相: “みそ”の多いゾーンと少ないゾーンが繰り返す軽石質凝灰岩からなる。“みそ”は 10～30 cm で“みそ”周辺に“みそぶた”と呼ばれる硬質な部分がみられる。

層厚: 17～51 m

分布: 立岩付近の高標高部に分布する。

Ⅲ層

岩相: “みそ”が小さく均質に混入している軽石質凝灰岩からなる。“みそ”の輪郭が不明瞭で、基質部に礫は含まない。

層厚: 9～29 m

分布: 立岩・坂本・丹賀地区に分布する。

Ⅳ層

岩相: 明瞭な“みそ”のゾーンが認められる軽石火山礫凝灰岩からなる。“みそ”は 10～20 cm 程度で、基質部が中～粗粒で 2 mm 程度の泥岩や流紋岩の角礫を含む。

層厚: 9～70 m

分布: 岩本・岩原・立岩地区に広く分布する。

Ⅴ層

岩相: 礫を多く含む軽石火山礫凝灰岩からなる。このうち、“みそ”のゾーンがあるものを上部層 (Vu 層)、塊状無層理のものを下部層 (Vl 層) とする。上部層は礫を多く含む“みそ”は 10～20 cm 程度で基質も粗粒である。下部は軽石質凝灰岩・火山礫凝灰岩・凝灰質礫岩からなり、基質は粗粒で砂分を多く含む。礫は 2～5 mm 程度を主とするが、まれに 1 m 程度の岩塊を取り込む。

層厚: 上部層約 40 m, 下部層約 30 m

分布: 大谷西部燈籠先

S2 層

岩相: 泥岩、砂岩泥岩互層、凝灰質砂岩および砂質凝灰岩からなる。互層の砂岩は単層が 10～30 cm で、等量から砂岩優勢である。泥岩中では生物擾乱が認められる。

層厚: 約 70 m

分布: 大谷西部燈籠先および多気山東側斜面

Ⅵ層

岩相：基質に砂分を多く含む砂質凝灰岩で、露頭部では風化が進行している。弱く溶結しており、泥岩偽礫を混入する。

層厚：57 m

分布：多気山東側斜面

S3 層

岩相：泥岩、砂質凝灰岩・泥岩互層からなる。泥岩中には生物擾乱、乱堆積構造が認められる。互層は砂質凝灰岩が優勢で、濃緑色を呈する扁平した火山ガラス、軽石がみられる。

層厚：11 m

分布：地表部では分布は認められず、多気山南東山麓部の地下にて確認される。

Ⅶ層

岩相：軽石質凝灰岩からなり弱溶結と強溶結の部分が認められる。本層が“田下石”“桜田石”“戸室石”と採掘業者が呼ぶ層準に相当すると考えられる。

層厚：21 m

分布：地表部に分布は認められず、大谷西部の多気山東側山麓および田下地区、桜田地区、戸室地区の地下に分布すると推定される。

S4 層

岩相：泥岩、砂質凝灰岩・泥岩互層からなる。泥岩中には生物擾乱、炭化物の混入が認められる。互層部は上方細粒化する級化構造がみられ、細粒部はラミナが発達する。

層厚：30 m

分布：地表部に分布は認められず、大谷西部の多気山東側山麓および田下地区、桜田地区、戸室地区の地下に分布すると推定される。

Ⅷ層

岩相：強溶結の溶結凝灰岩からなる。全体に青緑色を呈し硬質である。

層厚：6 m+

分布：地表部に分布は認められず、大谷西部の多気山東側山麓の地下に分布すると推定される。

7. 大谷地域の地質構造

宇都宮丘陵西側の宝木段丘堆積物下に南側に開いた向斜構造が推定される。大谷地域の主たる採石場は向斜の西翼部に分布し、地層は NE-SW 走向、大谷層下部で 20° SE 傾斜、大谷層上部で 10° SE 傾斜を示す。向斜軸部は財団法人大谷地域整備公社（1997）によれば、鎧川沿いを境に東側の採石場の“みそ”が西傾斜になること、高速道路付近のボーリングでの大谷層の岩相から宝木台地の西縁と推定される。大谷石として主として採石されるのはⅢ層～Ⅴ層で、露天掘りの時代はこの地層が分布する西縁（大谷資料館付近）であったが、その賦存量が不足するにつれて東側へ採石場が移っていった。最盛期には、向斜軸部付近で深度 100 m 程度の深い位置での採石がなされており、残柱強度の不足から落盤事故を起こすようになった。大谷石の採石空洞では、NE-SW 系と NW-SE 系の節理・断層が認められる（山本・正木、1997）。特に、向斜軸部での採石跡地で認められ安定性の低下の要因といえる。

観察地紹介

Stop 1 十二口

十二口では OGM が、沢沿いに露出する。細粒凝灰岩（Og40）の上位に厚さ約 3 m の泥質砂岩が重なり、この泥質砂岩中に OGM が含まれる。細粒凝灰岩の上部約 50 cm は生物擾乱が著しく、巣穴化石が多産する。貝化石層は密集層と、その直上・直下の多産部および密集層から数十 cm 離れた散在部からなる。

十二口での貝化石の産出密度は、密集層で露頭面 0.1 m² あたり 50 個体（離弁の二枚貝も 1 個体としてカウントした）、多産部で 0.1 m² あたり 10 個体程度である。二枚貝化石のうち合弁のものは、密集層で約 20%、多産部で約 90% である。密集層から離弁で産する二枚貝の中には、左殻と右殻が隣接しているものも多くみられる。多産部の貝類の多くは大成したものであるのに対し、密集層の貝類は同一種でもサイズにばらつきがみられる。

OGU 下の軽石質凝灰岩層（Og42）は層厚 8 m に及び、軽石の含有率が高く、粒径は最大 10 cm に達するものもある。軽石に含まれる有色鉱物は斜方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱である。一方、OGM 下の凝灰岩層（Og40）には軽石は目立たない。

Stop 2 吉田貝層

那珂川町吉田の那珂川右岸に、粗粒軽石質凝灰岩や凝灰質砂岩および軽石質含礫粗粒砂岩が露出している。これらの粗粒相は斜交葉理が発達し、貝類化石を豊富に含んでいる。このうち軽石質含礫粗粒砂岩は、Pectinidae を中心とした貝殻やフジツボなどの破片を豊富に含んだコキナになっており、吉田貝層と呼ばれている。隣接する権津川の最下流部では、コキナの最上部とその上位の砂質泥岩がみられる。

那珂川右岸の露頭の下部では、粗粒凝灰岩が上位に向かって軽石質に漸移する厚さ数十 cm から数 m のユニットが繰り返している。1 つのユニット中では上位に向かって軽石粒子が増加し、粒径が大きくなり、最大粒径は 20 cm を超える場合がある。破碎された貝類やフジツボやウニのとげなどが散在するほか、砂岩や含礫質砂岩がレンズ状に挟まる。穿孔貝の巣穴などの生痕化石もみられる。Pectinidae 以外の二枚貝を多産する層準も含みみられ、*Lucinoma annulata* や *Lima* sp., *Clinocardium* sp., *Callista* sp. などが産する。この層準の貝化石は、殻の破損は少なく、両殻が揃って産するものが多い。

上部は固結度の低い軽石質粗粒砂岩と、コキナを形成する軽石質含礫粗粒砂岩の互層が繰り返している。コキナはフジツボの破片やウニのとげ、腕足類などのほか *Miyagipeecten matsumoriensis*, *Patinopecten paraplebejus*, *Chlamys miyatoensis*, *Chlamys otukae* などのイタヤガイ科の貝化石が産する。

脊椎動物化石として、クジラの下顎骨や椎骨など 4 点が異なる層準から得られている。

権津川に露出する地層の最下部は、上部のユニットのコキナで、産出する化石の種や産状に変化は認められない。この上位の泥質砂岩や砂質泥岩は、下位の層準と異なり、

Neptunea koromogawana や *Lucinoma acutilineata* が散点的に産し、Pectinidae は産出しない。

コキナの下位には層厚 10 m 以上の中～粗粒砂と軽石の互層がある。軽石は円磨されたものが多く、粒径は数 cm から 10 cm を超えるものも少なくない。これらの軽石に含まれる有色鉱物は斜方輝石・単斜輝石・磁鉄鉱で、軽石を埋める基質の砂には磁鉄鉱・黒雲母などが含まれる。

Stop 3 大谷資料館

大谷石の採石場跡地を利用した資料館である (Fig.8)。大谷石利用の歴史、大谷石の採掘方法と採掘形態を展示しており、深さ 30 m に 20,000 m² にわたる空間が広がっている。この採掘空洞で分布するのは主としてⅢ層で細目と呼ばれる良質の石材である。

大谷石の採掘が本格的に始められたのは江戸時代の中頃からで、1960 年代 (昭和 35 年) 頃まではツルハシを利用した手掘りが主であった。その後、機械化が進み様々な採掘や裁断が出来るようになり、採石効率も格段に向上した。しかし、建築材料としての利用が少なくなるにつれて、稼働している採石場も減少し巨大地下空間を利用したコンサートや美術館、さらには地下貯蔵庫としての再利用が進められてきた。1989 年の大谷地域坂本地区での採石空洞の陥没以降、地下利用の気運が薄まり、安全対策としての埋立の検討が進められている。しかし、石材業者の採石跡地の放棄、産業廃棄物の違法投棄が社会的問題となっている。

Stop 4 大道寺石材店跡地

採石場跡地で主としてⅡ層～Ⅲ層が分布する。大谷資料館が観光目的に整備されているのと同様に、廃坑としての様相を示す。空洞の残柱や天端には多くのクラックが発生し、一部で崩壊している。ここでは、空洞の現状とともに大谷層のボーリングコアを観察し、上部～下部層への層相変化を確認する。コア採取より 10 年以上の経過をしているものもあるが、地表部での露頭が認められない層準もあり、大谷層を連続して観察できる。

さらに、地下空洞探査機器を利用した地質調査のデモンストラーションを行う。既設のボーリング孔を利用した原位置試験の状況、展示した物理探査機器を見学する。以下に最近

使用されている調査手法の特徴を示す (山本, 2009)。

①ボーリング孔を利用した原位置試験

原位置試験としては、従来のボアホールカメラを改良し、広範囲の空洞を撮影・測距するシステムをつけた空洞カメラと呼ばれもので行う。空洞カメラによる試験は基本的には空洞が推定される地点において実施されるもので、事前に物理探査等により空洞位置を想定しておくことが前提となる。空洞が水没している場合には、音響を用いた測距器を用いる。大谷空洞に空けたボーリング孔を利用して設置したカメラを、実際に操作して、試験の状況を把握する。

②物理探査手法

物理探査的な手法としては、弾性波・レーダー・電磁波を用いた探査機器で行われている。現状では、探査深度は数 m と浅いが精度が高いパルス波レーダーが多く用いられている。これらは、道路下の浅部の空洞調査で多く用いられている。一方、もう少し探査深度を上げられる連続波を用いた手法も開発され、深度 10 m 程度までは実績がある。実験段階であるが、最近、ミュー粒子を用いた空洞探査機器が開発された。ミュー粒子は宇宙線として地表に達し、さらに地下まで到達する高エネルギーの粒子である。地盤を透過したミュー粒子の強度 (カウンtrate) と透過距離が既知であれば地盤の密度を計算することが可能となる (大沼ほか, 2009, 鈴木ほか, 2009, 2010)。大谷空洞で実施した事例を見ることとする。

Stop 5 採石跡地観測システム

1989 (平成元年) 年の陥没事故を契機に大谷石採石場跡地を監視するモニタリングシステムとして「大谷石採取場跡地観測システム」が構築された (中田・野口, 1993)。現在、大谷石採取場跡地が分布する東西約 3 km, 南北約 5.5 km の観測区域に 126 箇所の観測点を設け、常時観測を継続している。観測区域は A～K の 11 ブロックに分けられ、10 台の中継ユニットが設置されている。観測点には 3 成分 (上下動 1, 水平動 2) の振動観測ができる地震計を、地表部の人工ノイズを避けるため地下平均 20 m に埋設している。地震計が捉えた振動波形は、観測点からメタルケーブルで監視ブロックごとに設置された中継ユニットに送られ、受信した電気アナログ信号を増幅した後、ノイズに強い光デジタル信号に変換し、光ファイバーケーブルを通じて観測所に送られる (村山ほか, 2004)。

観測所では振動波形を、トリガースタート監視システム、常時監視システムに分配する。トリガースタート監視システムは、予め設定されたトリガーレベル以上の振幅が生じた場合には、振動発生源に近い 8 箇所の観測点を選定し、振動データを収集する。常時監視システムは、過去の陥没地に隣接する観測点など、重要な観測点 (12 箇所) で常時、振動波形をモニタリングしている。

この観測システムは、本格稼働後に発生した陥没の前兆現象をとらえ、市民への避難地域設定に役立っており、情報は栃木県・宇都宮市へ配信される。また、振動波形の特徴が

Fig. 8 Stone hole of the Oya Stone Museum 30 m deep below the basement.

ら、空洞内での岩盤崩壊の状況を経験的に分類し、その陥没の予測にも貢献している。今年度に3月11日に発生した「平成23年 東北地方太平洋沖地震」においてその地震動を感知するとともに、その後に陥没やずれ込みによる被害についても報告を行い、対策協議会設置に至っている。

謝 辞

酒井豊三郎宇都宮大学名誉教授には日頃より本地域の地質についてご教示いただいた。地質調査総合センターの柳沢幸夫博士には荒川層群の生層序に関する未公表情報をご提供いただいた。また査読者の産業総合研究所の吉川敏之博士、高橋雅紀博士および案内書編集委員の安藤寿男博士、亀尾浩司博士のご指摘により粗稿の不備が大幅に改善された。これらの方々に深く感謝いたします。

文 献

- 阿久津純 (Akutsu, J.), 1953, 宇都宮付近の層序. 宇都宮大学芸学部研究論集 (*Bull. Utsunomiya Univ.*), sec. 2, 3, 191-209.
- 青島睦治 (Aoshima, M.), 1985, 栃木県下の第三系の有孔虫化石 (予報). 栃木県博紀要 (*Bull. Tochigi Pref. Mus.*), no. 2, 87-97.
- 鎮西清高 (Chinzei, K.), 1963, 東北日本の新第三紀貝化石群集の変遷. 化石, 総合研究“日本新第三系”特別号, 20-26.
- 古沢菜穂子・松居誠一郎・酒井豊三郎 (Furusawa, N., Matsui, S. and Sakai, T.), 1987, 上部中新統田野倉層上部及び入江野層の貝化石群. 栃木県博研究報告書 (*Mem. Tochigi Pref. Mus.*), no. 5, 57-79.
- Hayashi, H. and Takahashi, M., 2000, Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the middle part of the Miocene Arakawa Group in the Karasuyama area, Tochigi Prefecture, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 106, 689-702.
- Hirayama, K., 1954, Miocene Mollusca from the Arakawa group, Tochigi Prefecture, Japan (Part 1). *Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku*, Sec. C, 3, 43-76.
- Hirayama, K., 1967, Miocene Mollusca from the Arakawa group, Tochigi Prefecture, Japan (Part 2). *Prof. H. Shibata Mem. Vol.*, 389-395.
- Kanno, S., 1961, Miocene “*Pleurotomaria*” and its associated fauna from Tochigi Prefecture, Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, 32, 73-78.
- 柏村勇二 (Kashiwamura, Y.), 2011, 吉田貝層 (那珂川町吉田) の地質. 栃木県博紀要 (自然) (*Bull. Tochigi Pref. Mus. Nat. Hist.*), no. 28, 23-28.
- 河田喜之助 (Kawada, K.), 1947, 栃木県鷲ノ子山塊周縁の第三紀層について. 地質雑, 53, 92.
- Kawada, K., 1953, Geological studies on the Yamizo, Torinoko and Toriashi Mountain Blocks and their neighbourhood in the Northeastern Kwantō District. *Rep. Tokyo Bunrika Daigaku*, sec. C, 2, 217-307.
- 久保和也・柳沢幸夫・山元孝広・中江 訓・高橋 浩・利光誠一・坂野靖行・宮地良典・高橋雅紀・駒澤正夫・大野哲二 (Kubo, K., Yanagisawa, Y., Yamamoto, T., Nakae, S., Takahashi, Y., Toshimitsu, S., Banno Y., Miyachi, Y., Takahashi, M., Komazawa, M. and Ohno, T.), 2007, 20 万 分 の 1 地 質 図 幅「白河」(*Geological Map of Japan 1:200,000 Shirakawa*), 産総研地質調査総合センター (*Geological Survey of Japan/AIST*) 正木光一・山本高司 (Masaki, K. and Yamamoto, T.), 1997, 大谷地域におけるボーリングコアからの地質層序の検討. 日本地質学会第 103 年学術大会講演要旨 (*Abst. 103th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan*), 67.
- Masuda, K., 1962, Notes on the Tertiary Pectinidae of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd Ser., Spec., 5, 159-193
- 村山信策・野口静雄・藤原盛光・大村 猛 (Murayama, S., Noguchi, S., Fujiwara, M. and Omura, T.), 2004, 大谷石採取場跡地の観測システムについて. 土と基礎 (*Jour. Geotec. Soc. Japan*), 52, 31-34.
- 中田文雄・野口静雄 (Nakada, F. and Noguchi, S.), 1993, 大谷石採取場跡地における野外 AE 観測システム. 地質と調査 (*Geotechnology and Survey*), 2, 18-24.
- 新野 弘 (Niino, H.), 1933a, 下野山地北東縁の地質 (1). 地質雑, 40, 517-532.
- 新野 弘 (Niino, H.), 1933b, 下野山地北東縁の地質 (2). 地質雑, 40, 578-585.
- 布川嘉英・酒井豊三郎・天野一男 (Nunokawa, Y., Sakai, T. and Amano, K.), 2004, 栃木県内に分布する新第三系の層序. 栃木県博紀要 (自然) (*Bull. Tochigi Pref. Mus. Nat. Hist.*) no. 21, 1-18.
- Odin, G. S., Takahashi, M. and Cosca, M., 2001, ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology of Middle Miocene calcareous nannofossil biohorizons in Central Japan. *Chem. Geol.*, 171, 239-252.
- 大沼 寛・鈴木敬一・湊 進・久保田隆二・東谷 謙 (Onuma, H., Suzuki, K., Minato, S., Kubota, R. and Higashitani, K.), 2009, 宇宙線ミュー粒子を利用した地盤探査システム開発のための理論的検討. 社団法人 物理探査学会第 121 回学術講演論文集 (*121th Ann. Meet. Explor. Geophys. Japan*), 231-234.
- 太田 苗司 (Ohta, S.), 1949, 大谷石の研究－石材としての性質について. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), 55, 85-89.
- 酒井豊三郎 (Sakai, T.), 1986, 中新統荒川層群 (栃木県) の模式地における層序. 宇都宮大学教養部研究報告 (*Bull. Fac. General Educ. Utsunomiya Univ.*), no. 19, Sec. 2, 49-70.
- 酒井豊三郎・天野一男 (Sakai, T. and Amano, K.), 1986, 八溝山地周縁部. 日本の地質 3「関東地方」(*Regional Geology of Japan, Part 3, Kanto*), 共立出版 (Kyoritsu Shuppan), 129-132.
- 杉江博幸 (Sugie, H.), 1993, 放散虫化石群集による上部中新統荒川層群の古環境解析. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no. 9, 315-335.
- 鈴木敬一・湊 進・大沼 寛・久保田隆二・東谷 謙 (Suzuki, K., Minato, S., Onuma H., Kubota, R. and Higashitani, K.), 2009, 宇宙線ミュー粒子を利用した地盤探査システム開発のための試作機制作と基礎実験. 社団法人 物理探査学会第 121 回学術講演論文集 (*121th Ann. Meet. Explor. Geophys. Japan*), 235-238.
- 鈴木敬一・大沼 寛・東谷 謙 (Suzuki, K., Onuma H. and Higashitani, K.), 2010, 宇宙線ミュー粒子を利用した地盤探査システム開発のための計測器の検討と基礎実験. 社団法人 物理探査学会第 122 回学術講演論文集 (*122th Ann. Meet. Explor. Geophys. Japan*), 153-156.
- 高橋雅紀 (Takahashi, M.), 2008, 烏山地域. 日本地質学会編：日本地方地質誌 3 関東地方 (*Geol. Soc. Japan ed.: Regional Geology of Japan 3, Kanto*), 朝倉書店 (Asakura Publ.), 225-232.
- 高橋雅紀・吉川敏之 (Takahashi, M. and Yoshikawa, T.), 2008, 宇都宮地域. 日本地質学会編：日本地方地質誌 3 関東地方 (*Geol. Soc. Japan ed.: Regional Geology of Japan 3, Kanto*), 朝倉書店 (Asakura Publ.), 234-241
- Takahashi, M., Tanaka, Y. and Okada, T., 1999, Chronostratigraphy of the middle Miocene marine sequence in the Karasuyama area, central Japan: With special reference to the CN 5a/CN 5b boundary. *Jour. Japan. Assoc. Petrol. Technol.*, 64, 454-461.
- Takahashi, M., Hayashi, H., Tanaka, Y. and Okada, T., 2000, Integrated stratigraphy of the lower part of the Miocene Karasuyama sequence, central Japan. *Jour. Japan. Assoc. Petrol. Technol.*, 65, 571-583.
- 高井勇二 (Takai, Y.), 1990, 中部～上部中新統荒川層群における貝類群集の時間的変遷 (演旨). 日本古生物学会講演予稿集 (*Abst. Regular Meet. Palaeont. Soc. Japan, 1990*), 24.
- 田中裕一郎・高橋雅紀 (Tanaka, Y. and Takahashi, M.), 1998, 栃木県烏山地域に分布する中新統荒川層群下部の石灰質ナンノ化石層序. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), 104, 779-793.
- 山本高司 (Yamamoto, T.), 2009, 地下空洞の調査技術の現状と課題. 地質と調査 (*Geotechnology and Survey*), 3, 23-27.
- 山本高司・正木光一 (Yamamoto, T. and Masaki, K.), 1997, 栃木県大

- 谷地域における断裂の分類と意義. 平成9年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集 (1997 Ann. Meet. Eng. Geol. Soc. Japan), 209-212.
- 柳沢幸夫 (Yanagisawa, Y.), 2003, 栃木県烏山地域に分布する中新統荒川層群上部の珪藻化石 – その2, 古水深変化 –. 地質調査研究報告, 54, 15-27.
- 吉川敏之 (Yoshioka, T.), 1998, 栃木県宇都宮地域に分布する新第三系の地質と層序. 地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan), 112, 246-356.
- 吉川敏之・山元孝広・中江 訓 (Yoshikawa, T., Yamamoto, T. and Nakae, S.), 2010, 「宇都宮」地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅) (Geology of the Utsunomiya District, Quadrangle Ser., 1:50,000), 産総研地質調査総合センター (Geological Survey of Japan/AIST).
- 財団法人大谷地域整備公社 (Foundation Oya District Maintenance Public Corporation), 1997, 平成8年度大谷石採取場跡地調査業務委託報告書 (地質編) (1997 Report of Geological Survey in the Oya stone site, Chapter of Geology).