関東平野猿島・筑波台地に分布する 上部更新統下総層群常総層にみられる MIS 5c の指標テフラ含有層

秋 山 大 地^{*+} 須 貝 俊 彦^{*} 岡 崎 浩 子^{**}
中 里 裕 臣^{***} 大 井 信 三^{****}

MIS 5c Maker Tephra-bearing Beds in the Upper Pleistocene Joso Formation, Shimosa Group in the Sashima and Tsukuba Uplands, Kanto Plain, Japan

Daichi AKIYAMA^{*+}, Toshihiko SUGAI^{*}, Hiroko OKAZAKI^{**},
Hiroomi NAKAZATO^{***} and Shinzou OOI^{****}

[Received 27 May, 2018; Accepted 11 March, 2019]

Abstract

Marine and fluvial terraces in the Kanto Plain mostly formed in marine oxygen isotope stage (MIS) 5 under the concurrent influence of eustatic sea-level changes and Kanto basin-forming movements. In the central part of the plain, however, it remains unknown when and how terraces composed of the upper Pleistocene Joso and Kioroshi Formations, Shimosa Group developed. Terrace surfaces are classified by integrating geomorphic, sedimentary facies, and tephra analyses focusing on the southern Sashima and Tsukuba Uplands, including the northwestern Shimosa Upland. Terrace surfaces are classified into levels I to III. Terrace sediments distributed over levels I to II from the top in the Sashima, Tsukuba, and Shimosa Uplands are divided into two formations: Kioroshi Formation composed of beach facies and Joso Formation composed of flood plain and fluvial channel facies. Found in the Joso Formation were tuffaceous silt layer and pumiceous sand layer, including tephra grain correlated with On-Pm1 (c. 96 ka: Aoki *et al.*, 2008) and Nk-Ma (c. 100 ka: Yamamoto, 2012) in the southern Sashima and Tsukuba Uplands, which allow fluvial terraces formed in the Central Kanto Plain after MIS 5c to be identified.

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻

** 千葉県立中央博物館地学研究科

*** 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門

**** 産業技術総合研究所地質情報研究部門

+ 現所属：東京都港湾局

* Department of Natural Environmental Studies, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Kashiwa, 277-8563, Japan

** Division of Earth Sciences, Natural History Museum and Institute, Chiba, 260-8682, Japan

*** National Agriculture and Food Research Organization, Institute for Rural Engineering, Tsukuba, 305-8609, Japan

**** National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Research Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, Tsukuba, 305-8567, Japan

+ Present address: Bureau of Port and Harbor, Tokyo Metropolitan Government, Shinjuku, 163-8001, Japan

Key words : Kanto Plain, marin oxygen isotope stage 5, Joso Formation, fluvial terrace, On-Pm1, Nk-Ma

キーワード：関東平野，海洋酸素同位体ステージ5，常総層，河成段丘，御岳第1テフラ，日光満美穴テフラ

I. はじめに

関東平野の段丘の大半は，海洋酸素同位体ステージ（MIS）5e以降に形成された。これらの段丘群は，氷河性海水準変動と，縁辺部の相対的隆起と中央部の相対的沈降によって特徴づけられる関東造盆地運動（矢部・青木，1927；貝塚，1987；須貝ほか，2013）の影響下で，MIS 5e以降の古東京湾（Yabe, 1931）の段階的な縮小に伴って発達してきたと考えられている。しかし，平野中央部は，相対的な沈降域ゆえに段丘面の地形的分化が不明瞭であり，また北部・南部と比べて鍵層となるテフラ層が貧弱であるため検出が進んでおらず，MIS 5d以降の河川成堆積物として知られる上部更新統下総層群常総層と，その堆積面により形成される段丘面の編年学的区分は，詳細になされているとはいえない。

筆者らは，常総層とその堆積面の編年を詳細に行うことを目的として，猿島台地南部・筑波台地・下総台地北西部を対象に，地形判読，堆積相解析，テフラ分析を実施した。その結果，猿島台地南部・筑波台地西部に分布する常総層より，これまでに報告のなかった，火山ガラスを含むまたは自形を保った重鉱物を多産する地層（以下，本稿ではこれらをテフラ含有層と呼ぶ）が新たに識別されたため，地形面区分と常総層の堆積相を示したうえで，テフラ含有層の分析結果を報告する。

II. 対象地域

対象地域は関東平野の中央部に位置する筑波台地・猿島台地南部・下総台地北西部であり，筑波と猿島の台地は鬼怒川・小貝川下流低地によって，猿島と下総の台地は利根川下流低地によって，それぞれ分断されている（図1）。調査地点

は猿島台地南部で7地点，筑波台地で6地点，下総台地北西部で1地点，計14地点である（図1b）。このうち，本論で扱うテフラ含有層が採取された地点は猿島台地南部のLoc. 2および筑波台地のLocs. 3～6である。

対象地域におけるおもな既往研究による段丘面・層序区分を図2に示す。MIS 5eの海成層として知られる中・上部更新統下総層群木下層とその堆積面は広範に識別されている。木下層に累重する河成層は，常総層・大宮層・竜ヶ崎（砂）層などと呼ばれ，MIS 5c以降の堆積面を形成するとされている（杉原，1970；宇野沢ほか，1988；岡崎・増田，1992；中澤・田辺，2011；大井ほか，2013；納谷・安原，2014など）。

下総台地北西部の段丘面は，杉原（1970）により，以下の4面に区分された。すなわち，“下末吉ローム層に整合的におおわれる海成層（成田層）”と箱根吉沢下部テフラ群（Hk-KIPs）を伴う軽石・凝灰質粘土層より構成される下総上位面，砂礫層（市川砂層・竜ヶ崎砂層）と御岳第1テフラ（On-Pm1； 95.7 ± 5.3 ka；青木ほか，2008）と箱根小原台テフラ（Hk-OP；80-85 ka；町田・新井，2003）を伴う凝灰質粘土層（常総粘土）より構成される下総下位面，台地を刻む谷中に分布し，砂礫層（千葉段丘砂礫）と箱根東京テフラ（Hk-TP； 66.0 ± 5.5 ka；青木ほか，2008）を伴う関東ローム層より構成される千葉第1段丘面，千葉第1段丘より低位の千葉第2段丘面に区分された。その後，中澤・田辺（2011）はおおむね杉原（1970）に沿い，下総台地北西部の段丘面を，高位より下総上位面，下総下位面，台地を刻む谷中に分布する大堀川面に区分した。

猿島台地南部の段丘面は，杉原（1970）により，下総上位面に相当する常陸面および下総下

図 1 関東地域 (a) と対象地域 (b). (a) は国土地理院 10 m DEM を使用. Loc. 8: 那須町高久甲, Loc. 9: 塩谷郡塩谷町. (b) は国土地理院 5 m DEM を使用. Loc. 1: 取手市戸頭, Loc. 2: 常総市坂手町, Locs. 3~6: つくば市高須賀, Loc. 7: つくば市上境. 既往研究による柱状図は杉原 (1970), 池田ほか (1982), 宇野沢ほか (1988), 岡崎・増田 (1992), 岡崎ほか (1994), 岡崎・中里 (2003), 中澤・田辺 (2011) を参照した. 段丘面 I, II, III 面の説明は本文を参照.

Fig. 1 Kanto region (a) and study area (b). (a) 10 m DEM supplied by Geographical Survey Institute. Loc. 8: Takakuko, Nasu-town; Loc. 9: Shioya-town, Shioya-county. (b) 5 m DEM supplied by Geographical Survey Institute. Loc. 1: Togashira, Toride-city; Loc. 2: Sakate-town, Joso-city; Locs. 3~6: Takasuga, Tsukuba-city; Loc. 7: Kamisakai, Tsukuba-city. Columnar section from previous studies refers to Sugihara (1970), Ikeda *et al.* (1982), Unozawa *et al.* (1988), Okazaki and Masuda (1992), Okazaki *et al.* (1994), Okazaki and Nakazato (2003), and Nakazawa and Tanabe (2011). Descriptions of terrace surface levels I, II, and III are shown in the text.

面に相当する稲敷^{いなしき} (台地) 面に区分された。その後、中澤・田辺 (2011) は、杉原 (1970) の常陸面の一部を、下総下位面に区分した。また、大井ほか (2013) は、本台地の一部を MIS 5c-a の河成面に区分している。

筑波台地の段丘面は、池田ほか (1982) により、高位より成田層より構成される常陸面、鳥趾状三角州相を示す龍ヶ崎中部層より構成される龍ヶ崎中位面、蛇行河川相を示す龍ヶ崎上部層より構成される龍ヶ崎下位面に区分された。龍ヶ崎中部層が鳥趾状三角州相を示し、かつ龍ヶ崎中位面には北から南または北から南東方向へ延びる微高地と微高地間の低所が存在することから、龍ヶ崎中部層堆積期および龍ヶ崎中位面の形成期には鳥趾状三角州が発達していたことが論じられた。宇野沢ほか (1988) では、池田ほか (1982) の

常陸面、龍ヶ崎中位面および龍ヶ崎下位面は常総面と一括された。その後、大井ほか (2013) は宇野沢ほか (1988) の常総面を MIS 5c-a の河成面に区分した。

常総層の記載、区分および命名は、中村・福田 (1953) が、常総台地 (茨城県南部の台地群を総称した常陸台地と、千葉県北部の下総台地とを併せた呼び名; 図 1a) に分布し、関東火山灰層の下位にある粘土層と、木下砂層を一部侵食しておおう砂層をそれぞれ常総粘土層、龍崎砂層としたことにより始まる。その後、海成木下層の直上の凝灰質粘土層 (α) と、海成木下層を侵食して累重する河川成砂礫層 (いわゆる竜ヶ崎層) (β), そして竜ヶ崎層の直上の凝灰質粘土層 (γ) について、多くの記載、区分がなされてきた。これらの成果を、粘土層に着目して分類すると、 $\alpha \cdot \gamma$

Northwestern Shimosa Upland		Southern Sashima Upland		Tsukuba Upland		
Sugihara (1970)	Nakazawa and Tanabe (2011)	Sugihara (1970)	Nakazawa and Tanabe (2011), Naya and Yasuhara (2014)	Ikeda <i>et al.</i> (1982)	Unozawa <i>et al.</i> (1988)	Ooi <i>et al.</i> (2013)
Chiba 2nd Terrace	Ohorigawa Terrace					
"Pebbles"	Ohorigawa Terrace Deposits					
HK-TP	Chiba 1st Terrace			Ryugasaki Lower Terrace	Joso Terrace	Joso Terrace
HK-OP	Chiba 1st Terrace Pebbles · Ichihara Sands			Upper Member of Ryugasaki Formation	Upper Sand Member of Joso Formation	Joso Formation
On-Pm1	Shimosa Lower Terrace	Shimosa Lower Terrace	Inashiki Terrace	Ryugasaki Middle Terrace	Joso Terrace	
Nk-Ma	Ryugasaki Sands	Omiya Formation	Ryugasaki Sands	Omiya Formation	Middle Member of Ryugasaki Formation	
					Lower Sand Member of Joso Formation	
						Hitachi Lower Terrace
						Namekata Member of Kioroshi Formation
	Shimosa Upper Terrace	Shimosa Upper Terrace	Hitachi Terrace	Hitachi Terrace	Joso Terrace	Hitachi Upper Terrace
HK-KIPs	Narita Formation	Kioroshi Formation	Narita Formation	Narita Formation	Kioroshi Formation	Kenjaku Member of Kioroshi Formation

Legend

Marine Terrace	Fluvial Terrace
Marine Sediments	Fluvial Sediments

図 2 対象地域におけるおもな既往研究による段丘面・層序区分. HK-TP: 箱根東京テフラ, HK-OP: 箱根小原台テフラ, On-Pm1: 御岳第 1 テフラ, Nk-Ma: 日光満美穴テフラ, HK-KIPs: 箱根吉沢下部テフラ群.

Fig. 2 Terrace surface and Stratigraphic classification from previous studies in the study area. HK-TP: Hakone-Tokyo Tephra, HK-OP: Hakone-Obaradai Tephra, On-Pm1: Ontake 1st Tephra, Nk-Ma: Nikko-Mamiana Tephra, HK-KIPs: Lower member of Hakone-Kissawa Tephra.

をまとめて常総粘土層ないし常総層とするもの（小島, 1959, 1962）、 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ をまとめて常総粘土層ないし常総層とするもの（菊地, 1981; 小玉ほか, 1981; 竜ヶ崎団体研究グループ, 1994, 1998）、 α を木下層に含め、 $\gamma \cdot \beta$ をまとめて常総層とするもの（岡崎・増田, 1992）に大別される。

本論文では、岡崎・増田（1992）に倣い、竜ヶ崎層と常総粘土層を合わせたものを常総層とする。

III. 研究手法

1) 地形判読

1946～49年米軍撮影（縮尺約1:16,000）、1962、1975年国土地理院撮影（縮尺1:40,000）、2008、2012年国土地理院撮影（縮尺1:10,000）空中写真、国土地理院発行地形図（縮尺1:25,000）、1m間隔等高線地形図（国土地理院5m DEM使用）および地理院地図を使用し、地形の連続性および高度分布に基づき段丘面を区分した。

2) 堆積相解析

粒度、色調、堆積構造、基底面形状および含有化石に基づき堆積相を認定した。色調の決定には小山・竹原（2004）を参照した。

粒度分析にはレーザー回折式粒度分布測定装置（島津製作所製 SALD-3000S、東京大学大学院新領域創成科学研究科所有）、 -2 、 -1 、 0ϕ の目の篩を用いた。機器投入用試料は、超音波洗浄機、蒸留水を触媒に用いて、5から10分間水洗し、粒子同士を分散させたものを用いた。分析条件は、128回平均、2秒間隔、4回測定とした。粒度分布は体積%で示した。ここで、分析機器の測定対象粒子径は 1ϕ より小さい（以下、粗粒砂以下）粒子である。故に、 1ϕ より大きい粒子を含む試料は、次の手順で分析を進めた。まず、高温乾燥器で 80°C で数時間乾燥させた。次に、乾式の篩分けにより、粗粒砂以下、極粗粒砂、細礫、中礫の重量を求めた。そして、地盤工学会「土質試験—基本と手引き—」改訂編集 WG（2010）の砂質土の土粒子密度の中間値である 2.7 g/cm^3 で除し、体積%に換算した。なお、中礫および粘土の階級値をそれぞれ -2.5ϕ 、 8.5ϕ とした。

3) テフラ分析

まず、テフラを含有する可能性のある凝灰質シルト層や含軽石砂層について層相・産状を記載し、採取した。採取した試料を、超音波洗浄機で水洗し、恒温乾燥機を用いて $40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ で数時間乾燥または自然乾燥させ、実体顕微鏡下で観察し、自形を保った重鉱物とそれ以外の粒子の比率および重鉱物の組成を定性的に記載した。そして、火山ガラス（gl）を含む、または自形を保った重鉱物を多産する試料をテフラ含有層とした。glの形状は、バブルウォール（bw）型、繊維（fb）型、パミス（pm）型に分類した。

層相、鉱物組成、glまたは普通角閃石（ho）の主成分化学組成、鉱物の屈折率に基づき、給源火山や年代が知られているテフラ（以下、既知テフラ）とテフラ含有層に含まれる火山性碎屑物との比較を試みた。既知テフラには、対象地域およびその周辺部で既往研究により報告されており、かつテフラ含有層と産状、鉱物組成、産出層相が類似しているものを用いた。既知テフラ試料は、Loc. 8およびLoc. 9（図1a）で本研究において採取した。

主成分化学組成の分析には走査型電子顕微鏡付エネルギー分散型X線分光器（JEOL製 SEM-EDS, JSM6390LA、東京大学大学院新領域創成科学研究科所有）を使用した。分析試料は、実体顕微鏡下でglまたは未風化のhoを手選し、ペトロボキシ、カバーガラスを用いてアクリル製の試料台に封入し、恒温乾燥器を用い 80°C で12時間乾燥させた。その後、ダイヤモンドスラリーと研磨版を用い、測定粒子が露出しかつ鏡面状になるまで研磨した。最後に炭素蒸着した。分析方法はZAF法の簡易定量分析とし、分析条件を加速電圧： 20 kV 、照射電流： 1 nA 、作動距離： 10 mm 、ライブタイム： 100 秒 、ビーム径： $10\text{ }\mu\text{m}$ とした。測定機器立ち上げ時には、始良Tnテフラ（AT）および阿蘇4テフラ（Aso-4）のglをワーキングスタンダード試料として測定し、測定値に大きな差がないことを確認した。各試料につき、粒子20片を目標に測定した。測定値は合計100%になるように再計算した。なお、

ho の分析では、各測定粒子の中央付近を測定し、酸素数 $O = 23$ に対する陽イオン数を求めた。

屈折率の測定には温度変化型屈折率測定装置（古澤地質製 MAIOT、農業・食品産業技術総合研究機構所有）を使用した。測定試料は、実体顕微鏡下で $0.25 \sim 0.125$ mm 径の粒子を 5 ～ 10 個手選し、粉碎したものをを用いた。そして、測定試料と浸液を混合させ、30 点以上の屈折率を測定した。

IV. 結 果

1) 地形判読

猿島台地南部、筑波台地、下総台地北西部の段丘面は、最高位で樹枝状の開析度の大きい I 面、侵食谷中に断片的に分布する III 面、および、I 面と III 面以外の II 面に区分された（図 1b）。II 面はとくに広く分布し、高度が 1 ～ 数 m 異なる複数の地形面に細区分できる。しかし、本研究ではそれらの高度差のもつ意義、すなわち細区分された各地形面が同時期面なのか否か、といった議論に必要な情報が得られておらず、台地間での対比も不十分なため、II 面を一括して示す。調査対象地域の南東側に I 面が分布し、北西へ向かって高度を下げるとともに、I 面に代わって II 面の分布が卓越するようになる。以下に猿島台地南部・筑波台地・下総台地北西部における I ～ III 面の特徴を述べる。

猿島台地南部：I 面は標高 27 ～ 22 m の面で、II 面との境は不明瞭である。II 面は標高 25 ～ 15 m の面で、III 面と比高 6 ～ 5 m の明瞭な段丘崖で接する。III 面は標高 13 ～ 9 m の面で、II 面の縁辺に沿って分布し、沖積低地との比高は 2 ～ 1 m である。

筑波台地：I 面は標高 27 ～ 22 m の面で、II 面との境は不明瞭である。II 面は標高 30 ～ 22 m の面で、III 面と比高 6 ～ 2 m の段丘崖で接する。III 面は標高 22 ～ 5 m の面で、おおむね II 面の縁辺に沿って分布する。沖積低地の中に島状に分布する面も存在する。沖積低地との比高は 5 ～ 1 m である。

下総台地北西部：I 面は標高 27 ～ 22 m の面

で、II 面と比高 2 ～ 1 m の斜面で接する。II 面は標高 24 ～ 10 m の面で、III 面とはおもに比高 10 ～ 3 m の明瞭な段丘崖で接する。III 面は標高 13 ～ 10 m の面で、おおむね II 面の縁辺に沿って分布し、沖積低地との比高は約 1 m である。

2) 堆積相解析

河成の砂質層の堆積相 A と、同じく河成の泥質層の堆積相 B および海成層の堆積相 C が認められる（図 3）。

堆積相 A は、分級の悪いシルト質極細粒～粗粒砂、シルト～中礫などより構成される。トラフ型・平板型斜交層理、上方細粒化、堆積構造の上方縮小が顕著にみられ、中礫サイズの偽礫を伴うチャンネル底などがみられる。これらは蛇行河川のポイントバー（point bar; PB）相、鳥趾状三角州の分流チャンネル（distributary channel; CH）相と考えられる（Miall, 1992; 岡崎・増田, 1992）。

堆積相 B は、分級の悪いシルト、シルト質極細粒～極粗粒砂などより構成される。クライミング・リップル・平行・斜交・コンボリュート・波状非平行・レンズ状葉理、塊状・級化構造、根痕などがみられる。これらは、氾濫原湿地相（marsh; MA）（久富, 1998; 吉田・松岡, 2004）や自然堤防相（natural levee; NL）などである（岡崎・増田, 1992; Bridge, 2003）。塊状構造、根痕、下位に侵食面などがみられるチャンネル埋積相（channel fill; CHF）などもある（Collinson, 1996）。

海成層の堆積相 C は、下部は細礫まじりで分級のよい細～中粒砂層より構成され、ハンモック状斜交層理、トラフ型・平板型斜交層理、平行葉理などがみられる。上部は分級のよい細～中粒砂からなり、円礫層、分級のよい細礫の薄層などを挟むことがある。平行葉理が卓越する。これらは *Macaronichunus segregatis* を含む生物擾乱構造、貝殻の印象化石などを含む。下部は外浜相（Walker and Plint, 1992; 保柳ほか, 2004）、上部は前浜～後浜相（増田・横川, 1988; 奈良・清家, 2004）である。

図 3 Locs. 1～7 の柱状図. 各地点は図 1b を、堆積相は本文を参照. 古流向は上が北を示す. 各露頭の地表面の標高は、Loc. 1 : 21 m, Loc. 2 : 16.5 m, Loc. 3 : 21 m, Locs. 4～6 : 23.5 m, Loc. 7 : 26.3 m である.

Fig. 3 Columnar section of Locs. 1-7. Each location and sedimentary facies is shown in Fig. 1b and text. Upper direction of paleocurrent is north. Ground level of each outcrop: Loc. 1: 21 m, Loc. 2: 16.5 m, Loc. 3: 21 m, Locs. 4-6: 23.5 m, Loc. 7: 26.3 m.

3) テフラ分析

分析に用いたテフラ含有層および既知テフラの産状と顕微鏡写真を図 4 に、諸特性および屈折率を表 1 にそれぞれ示す。なお、図 3 に示されている Locs. 1, 2, 3, 6 のローム層基部の黄橙色軽石層および Loc. 7 の MA 相中の粘土化した軽石層に関しては、本稿の主題ではないため、記載と分析の報告を割愛する。

3-1) 猿島台地の JoSk-5 テフラ含有層 (Loc. 2) と On-Pm1 (Loc. 9)

JoSk-5 は、常総層の A 相中に、層厚 5 cm の灰色凝灰質シルト層として挟まれる。粒子の構成比は、重鉱物以外の粒子 8 : 重鉱物 2 である。重鉱物は ho, 黒雲母 (bt), 磁鉄鉱 (mt) より構成される。gl は確認できなかった。ho の屈折率は、1.678-1.691 (1.680-1.684) である。Loc. 9 (鈴木 (1992) の Loc. 34) の On-Pm1 は、最大

図 4 テフラの産状 (左) および顕微鏡写真 (右). (a) JoSk-5, (b) On-Pm1, (c) TsT1-3, (d) TsT2-1, (e) TsT3-2, (f) TsT4-4, (g) Nk-Ma.

Fig. 4 Outcrop photographs (left) and photomicrograph (right) of tephra. (a) JoSk-5, (b) On-Pm1, (c) TsT1-3, (d) TsT2-1, (e) TsT3-2, (f) TsT4-4, (g) Nk-Ma.

層厚 15 cm でローム層中にレンズ状に挟まる、細粒砂サイズの灰白色軽石層である。重鉱物は ho, bt, mt より構成され、gl (fb・pm) を伴う。

Loc. 2 の JoSk-5 テフラ含有層および Loc. 9 の On-Pm1 の両方に含まれる ho の主成分化学組成を図 5 に、平均値を表 2 にそれぞれ示す。mg* (= Mg/(Mg + Fe)) について、JoSk-5 は On-Pm1 に比して低領域に欠けるが 0.65 ~ 0.71 の高領域で類似する。また、K が 0.07 ~ 0.1, Ca が 1.45 ~ 1.55, Na が 0.35 ~ 0.4 の領域でそれぞれ重なる。

3-2) 筑波台地の TsT1-3 (Loc. 3), TsT2-1 (Loc. 4), TsT3-2 (Loc. 5) および TsT4-4 (Loc. 6) の各テフラ含有層と日光満美穴テフラ (Loc. 8)

TsT1-3 は、常総層の B 相中に、層厚 3 ~ 6 cm

の灰白色凝灰質細粒砂質シルト層としてパッチ状に挟まれる。粒子の構成比は、重鉱物以外の粒子 8 : 重鉱物 2 である。重鉱物は直方 (斜方) 輝石 (opx), ho, チタン鉄鉱 (il), mt より構成され、gl (灰色 pm・褐色 bw 型) を伴う。屈折率は、opx が 1.703-1.712, ho が 1.679-1.688 (1.683-1.684) である。

TsT2-1 は、常総層の B 相中に、層厚 2 ~ 8 cm で、最大粒径 12 mm の淡黄色軽石および極細粒 ~ 細粒砂が散在する層として挟まれる。粒子の構成比は、重鉱物以外の粒子 7 : 重鉱物 3 である。重鉱物はおもに opx, 単斜輝石 (cpx) より構成され、gl (灰色 pm・褐色 bw 型) を伴い、ho を微量含む。屈折率は、opx が 1.702-1.714 (1.705-1.707) である。

TsT3-2 は、常総層の B 相中に、層厚 15 ~ 20

表 1 テフラの諸特性.

Table 1 Characteristics of tephra.

Location	Type	Thickness	Maximum Grain size	Color	Main heavy mineral	Glass type	Refractive index	Identification
8		15 cm	0.25 mm	light gray	ho, bt, mt	fb, pm	gl(n) : 1.500–1.502 ¹⁾ opx(γ) : 1.700–1.711 (1.707–1.708) ho(n ₂) : 1.686–1.694 (1.692–1.693)	On-Pm1 ¹⁾ Nk-Ma ²⁾ Unit 3
9	sfa	40 cm	5 mm	black	opx, (ho)			
Known	s/pfa	30 cm	9 mm	dull reddish brown	opx, cpx, ho		opx(γ) : 1.701–1.716 (1.709–1.711) ho(n ₂) : 1.674–1.692 (1.680–1.681)	Unit 2-2
	s/pfa	40 cm	15 mm	bright reddish brown	opx, (ho)		opx(γ) : 1.704–1.715 (1.708–1.710) ho(n ₂) : 1.670–1.677 (1.673–1.674)	Unit 2-1
	pfa	30 cm	10 mm	orange	opx, mt, cpx	pm, bw	opx(γ) : 1.704–1.711 (1.706–1.707)	Unit 1
		3–5 cm	0.063 mm	gray	ho, bt, mt		ho(n ₂) : 1.678–1.691 (1.680–1.684)	JoSk-5
2		3–5 cm	0.063 mm	gray	ho, bt, mt		opx(γ) : 1.703–1.712 ho(n ₂) : 1.679–1.688 (1.683–1.684)	TsT1-3
3		3–6 cm	0.25 mm	light gray	opx, ho, il, mt	pm, bw		
4		2–8 cm	12 mm	pale yellow	opx, cpx, (ho)	pm, bw	opx(γ) : 1.702–1.714 (1.705–1.707)	TsT2-1
Unknown		15–20 cm	0.25 mm	light olive gray	ho, opx, mt	pm, bw	opx(γ) : 1.708–1.714 (1.710–1.711) ho(n ₂) : 1.673–1.691 (1.676–1.680)	TsT3-2
		4 cm	1 mm	dull yellow orange	ho, opx	pm, bw	opx(γ) : 1.705–1.716 (1.710) ho(n ₂) : 1.676–1.687 (1.682–1.684)	TsT4-4
Reference	pfa ⁵⁾				ho, bt, (opx) ⁵⁾	pm ⁵⁾	gl(n) : 1.501–1.503 ⁵⁾ ho(n ₂) : 1.679–1.685 (1.683) ⁵⁾	On-Pm1 ⁵⁾
	sfa ¹⁾	14 cm ¹⁾	14 mm ¹⁾	red ¹⁾	opx, mt, cpx, (ho) ¹⁾		opx(γ) : 1.707–1.714 ¹⁾	MaS ¹⁾
	s/pfa ³⁾	75 cm ³⁾	20 mm ³⁾	red, orange ³⁾	opx, mt, cpx ³⁾		opx(γ) : 1.702–1.706 ⁴⁾	MaS ³⁾
	sfa ⁶⁾				opx, cpx, (ho, ob) ⁶⁾		opx(γ) : 1.702–1.707 ⁸⁾	Nk-Ma ⁵⁾
	sfa ⁶⁾	≤ 60 cm ⁶⁾	8 mm ⁶⁾	reddish brown, dark gray ⁶⁾	opx, cpx, (ho) ⁶⁾		opx(γ) : 1.704–1.710 (80%) ⁶⁾ opx(γ) : 1.715–1.717 (10%) ⁶⁾ ho(n ₂) : 1.678–1.692 ⁶⁾	Nk-MA ⁶⁾
	sfa ⁷⁾				opx, cpx ⁷⁾		opx(γ) : 1.702–1.707 ⁷⁾	Nk-MA ^{2, 7)}
	s/pfa ⁸⁾	8 cm ⁸⁾	5 mm ⁸⁾	red ⁸⁾	opx, cpx, ol ⁸⁾	sc ⁸⁾	opx(γ) : 1.702–1.710 ⁸⁾	Nk-MaS ⁸⁾
	pfa ⁸⁾	5 cm ⁸⁾	5 mm ⁸⁾	yellow ⁸⁾	ho, opx ⁸⁾	gl ⁸⁾	opx(γ) : 1.705–1.712 ⁸⁾ ho(n ₂) : 1.680–1.688 ⁸⁾	Nk-MaS ⁸⁾
		5 cm ⁸⁾	2–10 mm ⁸⁾	yellow, red ⁸⁾	opx, cpx, ho ⁸⁾	sc ⁸⁾	opx(γ) : 1.702–1.710 ⁸⁾ ho(n ₂) : 1.674–1.681, 1.683–1.686 ⁸⁾	Nk-MaS ⁸⁾

sfa : 降下スコリア, pfa : 降下軽石, ob : 黒曜石, ol : かんらん石, sc : スコリア型. 1) 鈴木 (1992), 2) 山元 (2012), 3) 鈴木 (1993), 4) 鈴木 (1990), 5) 町田・新井 (2003), 6) 吉川ほか (2010), 7) 山元 (1999), 8) 大井 (2013).
sfa: scoria fall, pfa: pumice fall, ob: obsidian, ol: olivine, sc: scoria type. 1) Suzuki (1992), 2) Yamamoto (2012), 3) Suzuki (1993), 4) Suzuki (1990), 5) Machida and Arai (2003), 6) Yoshikawa *et al.* (2010), 7) Yamamoto (1999), 8) Ooi (2013).

図 5 On-Pm1 (Loc. 9) と JoSk-5 の普通角閃石の主成分化学組成.

Fig. 5 Major elements of hornblende in On-Pm1 (Loc. 9) and JoSk-5.

cm で、明オリーブ灰色の凝灰質細粒砂質粘土層として挟まれる。粒子の構成比は、重鉱物以外の粒子 8：重鉱物 2 である。重鉱物はおもに ho, opx, mt より構成され、gl (灰色 pm・褐色 bw 型)

を伴う。屈折率は、opx が 1.708-1.714 (1.710-1.711)、ho が 1.673-1.691 (1.676-1.680) である。

TsT4-4 は、常総層の B 相中に、層厚 4 cm で、

表 2 On-Pm1 (Loc. 9) と JoSk-5 の普通角閃石の主成分化学組成の平均値. 陽イオン数は O = 23 に基づく.

Table 2 Mean major elements of hornblende in On-Pm1 (Loc. 9) and JoSk-5. Number of cations is based on O = 23.

	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	n	mg*
On-Pm1 (Loc. 9)	7.05	0.15	1.47	1.59	3.06	1.50	0.41	0.08	19	0.66
S.D.	0.10	0.02	0.14	0.15	0.19	0.06	0.05	0.02		0.03
JoSk-5	7.12	0.14	1.37	1.51	3.17	1.51	0.39	0.08	18	0.68
S.D.	0.12	0.03	0.20	0.28	0.34	0.04	0.04	0.02		0.07

にぶい黄橙色の中粒～粗粒砂質シルト層として挟まれる。粒子の構成比は、重鉍物以外の粒子 9 : 重鉍物 1 である。重鉍物はおもに ho, opx より構成され, gl (灰色 pm・褐色 bw 型) を伴う。屈折率は, opx が 1.705-1.716 (1.710), ho が 1.676-1.687 (1.682-1.684) である。

Loc. 8 (山元 (2012) の Loc. 43) の日光満美穴テフラ (Nk-Ma. 100 ka ; 山元, 2012) は, ローム層中に堆積し, 3つのユニットに分けられる。すなわち, 下位より, 層厚 30 cm, 最大粒径 10 mm の逆級化構造を示す橙色軽石層 (ユニット 1), 層厚 70 cm, 細粒砂～細礫サイズのスコリアおよび最大粒径 15 mm の赤褐色軽石からなる層 (ユニット 2), そして層厚 40 cm, 粗粒砂～中礫サイズのスコリア混じり粗粒火山灰層 (ユニット 3) である。ユニット 2 は, 粒径・色調の特徴をもとに, さらに 2 層 (ユニット 2-1 および 2-2) に細分される。ユニット 1 の重鉍物は opx, mt, cpx より構成される。ユニット 2-1 の主要重鉍物は opx で, ho を微量含む。ユニット 2-2 の重鉍物は opx, cpx, ho より構成される。ユニット 3 の主要重鉍物は opx で, ho を微量含む。gl はユニット 1 にのみ含まれる。opx の屈折率は上部のユニットほど低い。

TsT1-3, 2-1, 3-2, 4-4 テフラ含有層の opx の屈折率は, Nk-Ma テフラのそのレンジに収まる。opx の屈折率のモード値は, TsT2-1 は Nk-Ma テフラのユニット 1 に, TsT3-2, 4-4 はユニット 2 に類似する。TsT テフラの 4 つの ho の屈折率は, いずれも Nk-Ma テフラのユニット 2-2 のそのレンジにおおむね収まる。

TsT1-3, 2-1, 3-2, 4-4 テフラ含有層と Nk-Ma

テフラのユニット 1 に含まれる灰色 pm 型 gl および褐色 bw 型 gl の主成分化学組成を図 6 に, 平均値を表 3 にそれぞれ示す。おもな主成分化学組成の平均値について, gl (褐色 bw 型) の SiO₂ は, TsT1-3 が 77.13 %, TsT2-1 が 77.63 %, TsT3-2 が 77.63 %, TsT4-4 が 77.58 % であり, Nk-Ma が 77.50 % である。Al₂O₃ は, TsT1-3 が 12.97 %, TsT2-1 が 12.88 %, TsT3-2 が 12.65 %, TsT4-4 が 13.03 % であり, Nk-Ma が 12.89 % である。MgO は, TsT1-3 が 0.37 %, TsT2-1 が 0.34 %, TsT3-2 が 0.33 %, TsT4-4 が 0.35 % であり, Nk-Ma が 0.36 % である。gl (褐色 bw 型) の SiO₂ が 77.1 ~ 77.6 %, Al₂O₃ が 12.6 ~ 13.0 %, MgO が 0.33 ~ 0.36 % の領域でそれぞれきわめてよく一致する。また, gl (灰色 pm 型) の SiO₂ は, TsT1-3 が 71.88 %, TsT2-1 が 69.95 %, TsT3-2 が 75.11 %, TsT4-4 が 68.72 % であり, Nk-Ma が 68.42 % である。Al₂O₃ は, TsT1-3 が 14.74 %, TsT2-1 が 14.95 %, TsT3-2 が 13.59 %, TsT4-4 が 14.87 % であり, Nk-Ma が 15.09 % である。K₂O は, TsT1-3 が 2.90 %, TsT2-1 が 2.15 %, TsT3-2 が 2.64 %, TsT4-4 が 1.91 % であり, Nk-Ma が 1.58 % である。gl (灰色 pm 型) の SiO₂ が 68 ~ 75 % で, Al₂O₃ が 13 ~ 15 % で, K₂O が 1.5 ~ 2.9 % の領域で類似する。

V. 考 察

1) テフラ含有層中のテフラ粒子の起源

1-1) JoSk-5 と On-Pm1

JoSk-5 は, 堆積相 A の河川成砂層中に産することおよび重鉍物以外の粒子が多く含まれることから, 再堆積テフラである可能性が高い。一方,

図 6 Nk-Ma (Loc. 8) と TsT1-3, 2-1, 3-2, 4-4 の火山ガラスの主成分化学組成。

Fig. 6 Major elements of volcanic glass shards in Nk-Ma (Loc. 8) and TsT1-3, 2-1, 3-2, 4-4.

JoSk-5 および On-Pm1 の色調に差異はなく、鉍物組成は ho および bt を多産することで共通する (図 4, 表 1)。また, ho の主成分化学組成の分布および平均値は類似し (図 5, 表 2), 屈折

率は町田・新井 (2003) のそれとよく一致する。さらに, Loc. 2 は On-Pm1 の降下範囲にある。よって, JoSk-5 は On-Pm1 起源のテフラ粒子を含むと考えられる。

表 3 Nk-Ma (Loc. 8) と TsT1-3, 2-1, 3-2, 4-4 の火山ガラスの主成分化学組成の平均値.

Table 3 Mean major elements of volcanic glass shards in Nk-Ma (Loc. 8) and TsT1-3, 2-1, 3-2, 4-4.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	Total
Nk-Ma (Loc. 8) (bw)	77.50	0.24	12.89	1.52	0.01	0.36	1.38	3.49	2.61	20	100
S.D.	0.33	0.04	0.17	0.28	0.02	0.05	0.47	0.45	0.96		
TsT1-3 (bw)	77.13	0.26	12.97	1.71	0.01	0.37	1.59	3.66	2.29	20	100
S.D.	0.73	0.09	0.18	0.28	0.03	0.10	0.16	0.33	0.30		
TsT2-1 (bw)	77.63	0.24	12.88	1.66	0.01	0.34	1.57	3.44	2.23	20	100
S.D.	0.17	0.05	0.13	0.07	0.02	0.05	0.06	0.21	0.11		
TsT3-2 (bw)	77.63	0.25	12.65	1.76	0.01	0.33	1.63	3.36	2.39	20	100
S.D.	0.28	0.06	0.21	0.22	0.01	0.06	0.12	0.42	0.18		
TsT4-4 (bw)	77.58	0.22	13.03	1.40	0.02	0.35	1.40	3.23	2.77	20	100
S.D.	0.26	0.06	0.22	0.34	0.04	0.06	0.30	0.28	0.62		
Nk-Ma (Loc. 8) (pm)	68.42	0.76	15.09	5.30	0.00	1.60	4.10	3.16	1.58	20	100
S.D.	3.67	0.32	1.52	2.56	0.01	0.78	1.16	0.75	0.61		
TsT1-3 (pm)	71.88	0.52	14.74	3.32	0.01	0.73	2.80	3.11	2.90	19	100
S.D.	5.34	0.35	2.44	1.90	0.02	0.73	1.96	0.82	1.39		
TsT2-1 (pm)	69.95	0.66	14.95	4.22	0.01	0.90	3.70	3.46	2.15	17	100
S.D.	5.40	0.31	2.74	2.24	0.02	0.98	1.86	0.81	1.01		
TsT3-2 (pm)	75.11	0.47	13.59	2.39	0.02	0.34	2.07	3.36	2.64	13	100
S.D.	3.15	0.28	2.03	1.17	0.04	0.22	1.38	0.56	1.05		
TsT4-4 (pm)	68.72	0.72	14.87	4.97	0.00	1.48	3.91	3.41	1.91	20	100
S.D.	4.15	0.24	0.91	1.88	0.00	0.59	1.22	0.37	0.78		

1-2) TsT1-3, TsT2-1, TsT3-2, TsT4-4 と Nk-Ma

TsT4-4 は、堆積相 B のチャンネル埋積相中に産することおよび重鉱物以外の粒子が多く含まれることから、再堆積テフラである可能性が高い。また、TsT1-3, 3-2 はいずれも堆積相 B の湿地相中に産するものの、重鉱物の量比が少なく、Loc. 8 の Nk-Ma や既往研究による Nk-Ma にはほとんど含まれない ho を多く含む (表 1)。よって、TsT1-3 と 3-2 は、再堆積テフラである可能性がある。他方、TsT2-1 は、堆積相 B の湿地相中に産し、軽石が保存されているものの、重鉱物の量比が少ないため、再堆積テフラである可能性を払拭できない。

しかし、TsT1-3, 2-1, 3-2, 4-4 と Loc. 8 の Nk-Ma の色調はおおむね類似する (図 4, 表 1)。opx の屈折率は、TsT2-1 は Loc. 8 の Nk-Ma のユニット 1 に、TsT3-2, 4-4 は Nk-Ma のユニット 2 にそれぞれ類似し (表 1)、既往研究の Nk-Ma のそれともおおむね一致する (表 1)。また

両者には共通して 2 つの型の gl が含まれ (図 4, 表 1), それらの主成分化学組成はきわめてよく一致する (図 6, 表 3)。また、Nk-Ma が利根川以北の常陸台地に広く降灰していることは大井ほか (2013), 大井 (2013) により論じられている。よって、TsT1-3, 2-1, 3-2, 4-4 は Nk-Ma 起源の粒子を含むと考えられる。

2) 層序と段丘面

本研究と既往研究による柱状図 (図 1b) に示されるとおり、I 面は C 相の海浜相からなる木下層に、II 面は A, B 相などの流路・氾濫原相からなる常総層によってそれぞれ構成される。上述したように常総層は、MIS 5c の鍵テフラである On-Pm1 起源の粒子および Nk-Ma 起源の粒子を含むテフラ含有層を狭在することから、MIS 5c 以降の年代を示す。したがって、II 面はおもに MIS 5c 以降に常総層が堆積することによって形成された地形面であると考えられる。

II 面は、既述のとおり、高度差や微起伏の特徴に基づき、さらに複数の段丘面に細区分できる

可能性がある。しかし、わずかな高度差が、異なる時代の地形面であることを反映しているのか、側方変化の大きい流路・氾濫原相よりなる常総層の堆積環境を反映したもので同時代の地形面であるのかについては、現時点では判断材料に欠ける。上記のいずれであるかを検討するためには、より詳細にテフラ等による編年を行う必要がある。

段丘面の高度が北西方向へ低まることから、対象地域では北西方向への相対的な沈降・傾動運動がはたらいてきたと考えられる。この運動像は関東造盆地運動と整合的である。

常総層は、河川の堆積様式、構造運動、常総層堆積前の地形、および、海水準変動を反映した河床縦断面の変化等が密接に関連し合う環境下で形成されていったと考えられる。そのため、テフラ等による編年を進めることは、常総層の発達過程と地形形成過程、そして関東平野全体の構造運動像を把握するために不可欠といえる。

VI. ま と め

地形判読により、猿島台地南部、筑波台地および下総台地北西部を、I～III面に区分した。IおよびII面の構成層を対象に堆積相解析を実施し、複数の堆積相を認定したうえで、海成層よりなる木下層と、流路・氾濫原相よりなる常総層とに区分した。テフラ分析を行い、猿島台地 (Loc. 2) で On-Pm1 起源の粒子を含む灰色凝灰質シルト層を、筑波台地 (Locs. 3～6) で Nk-Ma 起源の粒子を含む灰白色凝灰質細粒砂質シルト層 (Loc. 3)、淡黄色軽石および極細粒～細粒砂が散在する層 (Loc. 4)、明オリーブ灰色の凝灰質細粒砂質粘土層 (Loc. 5)、にぶい黄橙色の中粒～粗粒砂質シルト層 (Loc. 6) を見いだした。II面は MIS 5c のテフラ起源の粒子を含むテフラ含有層を挟む常総層により構成されるため、MIS 5c 以降に形成されたと考えられる。常総層の発達過程と地形形成過程を復元し、関東平野全体の構造運動を把握するためには、テフラ等を用いて、より詳細に編年を行う必要がある。

謝 辞

東京大学大学院須貝俊彦研究室・自然環境変動学分野の院生には、野外調査、試料採取、室内分析の際にご協力をいただくとともに、地形判読に関する多数のご助言・議論をしていただいた。とくに博士課程の高橋尚志氏には、野外調査、テフラ分析について、多くの時間をいただき、ご協力いただいた。本研究の一部に、日本学術振興会科学研究費補助金（基礎研究 B：26282078）を使用した。記して、感謝申し上げる。

文 献

- 青木かおり・入野智久・大場忠道 (2008): 鹿島沖海底コア MD01-2421 の後期更新世テフラ層序。第四紀研究, **47**, 391-407. [Aoki, K., Irino, T. and Oba, T. (2008): Late Pleistocene tephrostratigraphy of the sediment core MD01-2421 collected off the Kashima coast, Japan. *Quaternary Research (Daiyonki Kenkyu)*, **47**, 391-407. (in Japanese with English abstract)]
- Bridge, J.S. (2003): Floodplains. in *Rivers and Floodplains: Forms, Processes, and Sedimentary Record*, Blackwell Publishing, 260-295.
- Collinson, J.D. (1996): Alluvial sediments. in *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy, Third Edition* edited by Reading, H.G., Blackwell Publishing, 37-82.
- 久富邦彦 (1998): 泥・泥岩。公文富士夫・立石雅昭編：新版 碎屑物の研究法。地学団体研究会, 273-328. [Hisatomi, K. (1998): Mud and mudstone. in *Revised Study Method of the Clastic Sediments (Shinpan Saisetsubutsu No Kenkyuho)* edited by Kumon, F. and Tateishi, M., Association for the Geological Collaboration in Japan, 273-328. (in Japanese)*]
- 保柳康一・公文富士夫・松田博貴, 日本地質学会フィールドジオロジー刊行委員会編 (2004): 堆積物と堆積岩。共立出版, 171p. [Hoyanagi, K., Kumon F. and Matsuda, H. (2004): *Sediments and Sedimentary Rock (Taiseikibutsu To Taiseikigan)* edited by Field Geology Publishing Ccommittee of the Geological Society of Japan, Kyoritsu Shuppan, 171p. (in Japanese)*]
- 池田 宏・水谷かおり・園田洋一・伊勢屋ふじこ (1982): 筑波台地の地形発達—“古霞ヶ浦”の鳥趾状三角州—。筑波の環境研究, **6**, 150-156. [Ikeda, H., Mizutani, K., Sonoda, Y. and Iseya F. (1982): Landform evolution of the Tsukuba Upland—Bird foot delta in Paleo Kasumigaura. *Tsukuba Environmental Studies*, **6**, 150-156. (in Japanese)*]
- 地盤工学会「土質試験—基本と手引き—」改訂編集 WG 編 (2010): 土質試験—基本と手引き— (第二回改訂版)。丸善書店, 251p. [Japanese Geotechnical Society, Revision and Editing WG of the Basis and Manual for Soil Test (2010): *Basis and Manual for Soil Test (2nd Edition)* (Doshitsu Shiken Kihon To

- Tebiki Dai 2 Kai Kaiteiban*). Maruzen Shoten. (in Japanese)*]
- 貝塚爽平 (1987): 関東の第四紀地殻変動. 地学雑誌, **96**, 223-240. [Kaizuka, S. (1987): Quaternary crustal movements in Kanto, Japan. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **96**, 223-240. (in Japanese with English abstract)]
- 菊地隆男 (1981): 常総粘土層の堆積環境. 地質学論集, **20**, 129-145. [Kikuchi, T. (1981): Sedimentary environment of the Joso Clay overlying the marine Pleistocene deposits in the Kanto district, central Japan. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **20**, 129-145. (in Japanese with English abstract)]
- 小玉喜三郎・堀口万吉・鈴木尉元・三梨 昂 (1981): 更新世後期における関東平野の地塊状造盆地運動. 地質学論集, **20**, 113-128. [Kodama, K., Horiguchi, M., Suzuki, Y. and Mitsunashi, T. (1981): Late Pleistocene crustal movement of the Kanto plain, central Japan. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **20**, 113-128. (in Japanese with English abstract)]
- 小島伸夫 (1959): 印旛沼周辺の成田層群について—成田層群の研究第3報—. 地質学雑誌, **65**, 595-605. [Kozima, N. (1959): Geoplogical studies of the environs of the Inba-numa, Chiba Prefecture—Studies on the Narita Group (3)—. *Journal of the Geological Society of Japan*, **65**, 595-605. (in Japanese with English abstract)]
- 小島信夫 (1962): 手賀沼周辺から大網白里町にかけての成田層群の堆積状態と地史について—成田層群の研究第5報—. 地質学雑誌, **69**, 172-183. [Kozima, N. (1962): Geological history and sedimentation of the Narita Group from the vicinity of Tega-numa to Oami-sirasato-mati, Tiba Prefecture, Japan—Studies on the Narita Group (5)—. *Journal of the Geological Society of Japan*, **69**, 172-183. (in Japanese with English abstract)]
- 町田 洋・新井房夫 (2003): 新編火山灰アトラス 日本とその周辺. 東京大学出版会, 336p. [Machida, H. and Arai, F. (2003): *Atlas of Tephra in and around Japan (Revised Edition)*. University of Tokyo Press, 336p. (in Japanese)]
- 増田富士雄・横川美和 (1988): 地層の海浜堆積物から読み取れるもの. 月刊地球, **10**, 523-530. [Masuda, F. and Yokokawa, M. (1988): What can be found from the stratum of beach sediments. *Chikyū Monthly*, **10**, 523-530. (in Japanese)*]
- Miall, A.D. (1992): Alluvial deposits. in *Facies Models—Response to Sea Level Change—* edited by Walker, R.G. and James, N.P., Geological Association of Canada, 119-142.
- 中村一夫・福田 理 (1953): 常総台地の地形及び地質 (要旨). 地質学雑誌, **59**, 319. [Nakamura, K. and Fukuda, O. (1953): The topography and geology of the Joso Upland. *Journal of the Geological Society of Japan*, **59**, 319. (in Japanese)*]
- 中澤 努・田辺 普 (2011): 野田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査総合センター, 72p. [Nakazawa, T. and Tanabe, S. (2011): *Geology of the Noda District. Quadrangle Series, 1: 50,000*. Geological Survey of Japan, 72p. (in Japanese with English abstract)]
- 奈良正和・清家弘治 (2004): 千葉県九十九里浜の現世前浜堆積物に見られる *Macaronichnus segregatis* 様生痕とその形成者. 地質学雑誌, **110**, 545-551. [Nara, M. and Seike, K. (2004): *Macaronichnus segregatis*-like traces found in the modern foreshore sediments of the Kujukuri-hama coast, Japan. *Journal of the Geological society of Japan*, **110**, 545-551. (in Japanese with English abstract)]
- 納谷友規・安原正也 (2014): 鴻巣地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査総合センター, 82p. [Naya, T. and Yasuhara, M. (2014): *Geology of the Konosu District. Quadrangle Series, 1:50,000*. Geological Survey of Japan, 82p. (in Japanese with English abstract)]
- 岡崎浩子・増田富士雄 (1992): 古東京湾地域の堆積システム. 地質学雑誌, **98**, 235-258. [Okazaki, H. and Masuda, F. (1992): Depositional systems of the Late Pleistocene sediments in Paleo-Tokyo Bay area. *Journal of the Geological Society of Japan*, **98**, 235-258. (in Japanese with English abstract)]
- 岡崎浩子・中里裕臣 (2003): 上部更新統下総層群の層序と柱状図データベース—その 2: 常陸台地—. 千葉県立中央博物館自然誌研究報告, **7**, 45-77. [Okazaki, H. and Nakazato, H. (2003): Stratigraphy of the upper Shimosa Group—Part 2: The Hitachi Upland (preliminary report)—. *Journal of the Natural History Museum and Institute, Chiba*, **7**, 45-77. (in Japanese with English abstract)]
- 岡崎 (熊代) 浩子・佐藤弘幸・中里裕臣 (1994): 上部更新統下総層群, 木下層と常総層・姉崎層の層序—その 1: 下総台地地域—. 千葉県立中央博物館自然誌研究報告, **3**, 19-69. [Okazaki-Kumashiro, H., Sato, H. and Nakazato, H. (1994): Stratigraphy of the upper Pleistocene Shimosa Group, Kioroshi, Joso and Anesaki Formations—Part 1: Shimosa Upland—. *Journal of the Natural History Museum and Institute, Chiba*, **3**, 19-69. (in Japanese with English abstract)]
- 大井信三 (2013): 常陸台地における下総層群のテフラ対比と層序. 茨城大学博士論文, 172p. [Ooi, S. (2013): *Stratigraphy and Tephro-stratigraphy of the Quaternary Shimosa Group in Hitachi Terrace*. Doctoral Thesis of Ibaraki University, 172p. (in Japanese with English abstract)]
- 大井信三・西連地信男・横山芳春・安藤寿男 (2013): 常陸台地における段丘面区分の再検討. 茨城県自然博物館研究報告, **16**, 51-56. [Ooi, S., Sairenji, N., Yokoyama, Y. and Ando, H. (2013): Re-examination of terrace surface division of the Hitachi Terraces, Ibaraki Prefecture. *Bulletin of the Ibaraki Nature Museum*, **16**, 51-56. (in Japanese)]
- 小山正忠・竹原秀雄 (2004): 新版 標準土色帖. 日本

- 色研事業. [Oyama, M. and Takehara, H. (2004): *Revised Standard Soil Color Charts*. Japan Color Enterprise. (in Japanese, English and French)]
- 竜ヶ崎団体研究グループ (1994): 稲敷台地南部の下総層群—上岩橋層と木下層の堆積相, 層序, 古環境 (その1)—. 地球科学, **48**, 535-551. [Ryugasaki Collaborative Research Group (1994): Shimosa Group in the southern Inashiki Upland, Kanto Plain, central Japan—Sedimentology and stratigraphy of the Kamiwahashi and the Kioroshi Formations (part 1)—. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **48**, 535-551. (in Japanese with English abstract)]
- 竜ヶ崎団体研究グループ (1998): 稲敷台地南部の下総層群—後期更新世以降の地殻変動 (その2)—. 地球科学, **52**, 378-390. [Ryugasaki Collaborative Research Group (1998): Shimosa Group in the southern Inashiki Upland, Kanto Plain, central Japan—Crustal movements since late Pleistocene (Part 2)—. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **52**, 378-390. (in Japanese with English abstract)]
- 須貝俊彦・松島 (大上) 紘子・水野清秀 (2013): 過去40万年間の関東平野の地形発達史—地殻変動と氷河性海水準変動の関わりを中心に—. 地学雑誌, **122**, 921-948. [Sugai, T., Matsushima (Ogami), H. and Mizuno, K. (2013): Last 400 ka landform evolution of the Kanto Plain: Under the influence of concurrent glacio-eustatic sea level changes and tectonic activity. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **122**, 921-948. (in Japanese with English abstract)]
- 杉原重夫 (1970): 下総台地西部における地形の発達. 地理学評論, **43**, 703-718. [Sugihara, S. (1970): Geomorphological developments of the western Shimosa Upland in Chiba prefecture, Japan. *Geographical Review of Japan*, **43**, 703-718. (in Japanese with English Abstract)]
- 鈴木毅彦 (1990): テフロクロノロジーからみた赤城火山最近20万年間の噴火史. 地学雑誌, **99**, 60-75. [Suzuki, T. (1990): Tephrochronological study on the 200,000 years eruptive history of Akagi Volcano in north Kanto, central Japan. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **99**, 60-75. (in Japanese with English abstract)]
- 鈴木毅彦 (1992): 那須火山のテフロクロノロジー. 火山, **37**, 251-263. [Suzuki, T. (1992): Tephrochronological study on Nasu Volcano. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **37**, 251-263. (in Japanese with English abstract)]
- 鈴木毅彦 (1993): 北関東那須野原周辺に分布する指標テフラ層. 地学雑誌, **102**, 73-90. [Suzuki, T. (1993): Stratigraphy of middle Pleistocene tephra layers around Nasuno Plain, in North Kanto, central Japan. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **102**, 73-90. (in Japanese with English abstract)]
- 宇野沢 昭・磯部一洋・遠藤秀典・田口雄作・永井 茂・石井武政・相原輝雄・岡 重文 (1988): 2万5千分の1筑波研究学園都市及び周辺地域の環境地質図説明書. 特殊地質図 (23-2). 地質調査所, 139p. [Unozawa, A., Isobe, I., Endo, H., Taguchi, Y., Nagai, S., Ishii, T., Aihara, T. and Oka, S. (1988): *Explanatory Text of the Environmental Geologic Map of the Tsukuba Science City and Its Surroundings*. 1:25,000. Geological Survey of Japan, 139p. (in Japanese with English abstract)]
- Walker, R.G. and Plint, A.G. (1992): Wave- and storm-dominated shallow marine systems. in *Facies Models—Response to Sea Level Change—* edited by Walker, R.G. and James, N.P., Geological Association of Canada, 219-238.
- Yabe, H. (1931): Geological growth of the Tokyo Bay. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **9**, 333-339.
- 矢部長克・青木廉二郎 (1927): 関東構造盆地周縁山地に沿へる段丘の地質時代. 地理学評論, **3**, 79-87. [Yabe, H. and Aoki, R. (1927): Geological age of the terrace levels developed along the foot of the mountains surrounding Kanto tectonic basin. *Geographical Review of Japan*, **3**, 79-87. (in Japanese)*]
- 山元孝弘 (1999): 福島-栃木地域に分布する30-10万年前のプリニー式降下火砕物: 沼沢・燧ヶ岳・鬼怒沼・砂子原火山を給源とするテフラ群の層序. 地質調査所月報, **50**, 743-767. [Yamamoto, T. (1999): Plinian fall deposits in the Fukushima-Tochigi area during 0.3-0.1 Ma: Stratigraphy of marker tephra layers erupting from Numazawa, Hiuchigatake, Kinunuma, and Sunagohara volcanoes. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **50**, 743-767. (in Japanese with English abstract)]
- 山元孝広 (2012): 福島-栃木地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化. 地質調査研究報告, **63**, 35-91. [Yamamoto, T. (2012): Quantitative re-description of tephra units since 0.3 Ma in the Fukushima-Tochigi region, NE Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **63**, 35-91. (in Japanese with English abstract)]
- 吉田英一・松岡敬二 (2004): 愛知県豊橋市高師原台地から産する「高師小僧」. 名古屋大学博物館報告, **20**, 25-34. [Yoshida, H. and Matsuoka, K. (2004): Occurrence of 'Takashikozo' from Takashihara area, Aichi Prefecture. *Bulletin of the Nagoya University Museum*, **20**, 25-34. (in Japanese with English abstract)]
- 吉川敏之・山元孝広・中江 訓 (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). 地質調査総合センター, 79p. [Yoshikawa, T., Yamamoto, T. and Nakae, S. (2010): *Geology of the Utsunomiya District. Quadrangle Series, 1:50,000*. Geological Survey of Japan, 79p. (in Japanese with English abstract)]

* Title etc. translated by D.A.