

千葉県屏風ヶ浦の 3D 写真測量データにおける犬吠層群テフラ分布

中里裕臣¹・岩本直哉²・上田脩郎²・岡崎浩子³・千木良雅弘³

¹ 産業技術総合研究所

² 銚子ジオパーク推進協議会

³ 深田地質研究所

Distribution of tephras of the Inubo Group on the 3D photogrammetry data of Byobugaura, Chiba Prefecture

NAKAZATO Hiroomi¹, IWAMOTO Naoya², UEDA Shuro²,

OKAZAKI Hiroko³, CHIGIRA Masahiro³

¹ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

² Choshi Geopark Promotion Council

³ Fukada Geological Institute

要旨：千葉県北東部の屏風ヶ浦では太平洋に面して 10km に渡る海食崖が分布し、上部鮮新統一下部更新統犬吠層群とそれを不整合に覆う上部更新統香取層を連続的に観察することができる。犬吠層群では数多くのテフラが記載され、詳細な柱状図や他地域との対比および年代が明らかにされているが、露頭が急崖部に限られ、地層が緩傾斜であるため、テフラの分布を従来の地質図に表示するのは難しい。そこで、露頭情景のデジタル保存や断層解析のために取得された 3D 写真測量データを活用し、このデータ上にテフラの分布情報を記録することを試みた。現地調査により写真測量データ上で計 232 層のテフラ位置を確認し、既往研究による主要なテフラについてはその分布をレイヤデータとして保存した。その結果、屏風ヶ浦では名洗層の In3 (約 2.8 Ma) から横根層の Yk3b (約 0.85 Ma) までの地層が連続して分布し、観察できることが明らかになった。キーワード：テフラ、屏風ヶ浦、犬吠層群、写真測量、GIS

Abstract: The upper Pliocene to lower Pleistocene Inubo Group and the upper Pleistocene Katori Formation are continuously observed at Byobugaura in northeastern Chiba Prefecture, where a 10-km-long sea cliff stretches along the Pacific Ocean. Numerous tephras have been described in the Inubo Group, and detailed columnar sections, ages of the tephras and their correlation with those in other areas are available. However, it is difficult to show the distribution of tephras on conventional geological maps because the outcrops are limited to steep cliffs and the strata are gently sloping. Therefore, we attempted to record the tephra distribution information by utilizing 3D photogrammetric data acquired for the digital preservation of outcrop scenes and fault analysis. A total of 232 tephra layers were identified in the photogrammetric data during the field survey, and the distribution of major tephra layers was saved as the individual layer data. As a result, it is clear that the strata from In3 (about 2.8 Ma) of the Naarai Formation to Yk3b (about 0.85 Ma) of the Yokone Formation are continuously distributed and observable at Byobugaura.

Keywords: tephra, Byobugaura, Inubo Group, photogrammetry, GIS

1. はじめに

千葉県銚子地域に分布する犬吠層群のテフラは酒井（1990）によって系統的に記載された。その後、佐藤（2002）、藤岡・亀尾（2004）などにより上総層群テフラとの対比が示され、田村ほか（2007, 2019）などの研究では広域対比が進められ、犬吠層群基底が3.11～3.22Maに及ぶことが示された。鈴木・村田（2011）、鈴木ほか（2023）などの研究では東京都コアのテフラとの対比が進められ、関東構造盆地を埋積する上総層群の構造が明らかにされてきた（表1）。

これらのテフラは多くの場合柱状図によってその層位が示されるが、テフラの数が多いため露頭で個々のテフラを識別するのが難しい場合がある。また、露頭は急崖で地層が緩傾斜であることから、従来の平面的な地質図に多くのテフラの位置を図示することは困難である。一方、銚子市は屏風ヶ浦露頭のデジタル保存と自由視点からの観察を目的として、千葉科学大西から磯見川河口左岸の範囲でドローン写真測量による3Dデータを取得した。また、千木良（2021）は断層解析を目的として、刑部岬から名洗までの犬吠層群についてドローン写真測量による3Dデータを取得した。本稿では図1に示すこれらの写真測量データを利用して、3Dデータ画像における犬吠

層群の各累層（下位から名洗層、春日層、小浜層、横根層）のテフラ位置を露頭で確認し、千葉科学大西から刑部岬まで欠層の無い連続露頭であることを確認するとともに3Dデータ上に主要なテフラ位置を記録した結果を報告する。

2. 調査方法

ドローンにより撮影した写真はAgisoft Metashape Professional Editionを用いて3Dモデルを作成し、*.tlsデータとして出力した。撮影機材は、銚子市ではDJI Matrice 300RTK + DJI Zenmuse P1 (45 MP)であり、千木良（2021）ではDJI Mavic 2 Pro + L1D-20c (20 MP)である。*.tlsデータから屏風ヶ浦の全区間について露頭面に正対する画像を印刷し、野外作業図とした。現地調査では、欠落の無いようにテフラの岩相記載、テフラおよびテフラ間の層厚測定を行い、野外作業図上の地層線との対応を確認した。野外調査結果は柱状図に整理し、既往文献の記載内容（岩相・層厚・テフラ間層厚）との比較からテフラ名を同定した。そして主要なテフラ、層理面、累層境界および断層について野外作業図を参照しつつ、Agisoft Viewerを用いて3Dモデルにラインとして入力し、個別のベクトルレイヤとして保存した。

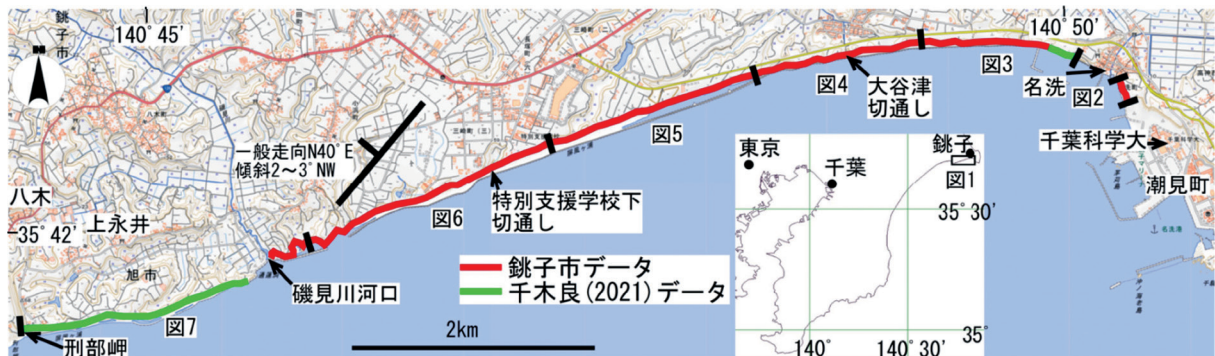


図1 調査位置図（国土地理院の電子地形図25000に加筆して作成）。

3. 調査結果

調査の結果、屏風ヶ浦露頭では名洗層 In3 から横根層 Yk3b までの層準が観察できることが明らかになった。今回確認したテフラ数は、名洗層で 63 層、春日層で 35 層、小浜層で 128 層、横根層で 6 層の計 232 層である。3D データも併用して求められた屏風ヶ浦における各層の層厚は、名洗層 24.6m、春日層 95.7～92.7m、小浜層 107.7m、横根層 17.7m となり、観察可能な全層厚は約 245m であり、2.8Ma～0.85Ma の年代をカバーする。

屏風ヶ浦の急崖は西部の磯見川河口において約 180m 幅で途切れるが、後述する Ob4a の下位の未命名テフラが追跡できることにより、観察できる露頭は連続していることが明らかになった。

次節以降ではテフラや累層境界などを記入した 3D データから露頭面にほぼ正対する視点からの出力を全区間について示し、下位である東側から上位である西側に向かって順に場所毎の特徴を解説する。なお、各図には鉛直方向のスケールを示したが、データ上の 2 点間距離は奥行き成分も含むため、概略の目安となる。また、図は正斜投影でなく中央の視点からの中心投影であるため、場所により水平方向のスケールが異なる。

3.1 千葉科学大西～名洗東 (図 2)

この区間は遊歩道の整備区間でもあり、田村ほか (2007) による名洗層テフラ In3～11 が断層による小変位とともに観察される。これより下位の名洗層最下部は千葉科学大東の潮見町～犬若にかけて分布し、In1, 2 が報告されている (植木ほか, 2022)。本区間の西側で明瞭に分布する含ザクロ石テフラ NaG の年代は 2.5Ma であり、第四紀基底層準はこのテフラの下位にある (田村

ほか, 2010)。

3.2 名洗西～大谷津^{おおやづ}切通し (図 3, 4)

名洗集落西の最初の露頭では最下部に NaG がみられ、上位に In7 が分布する。谷を挟んですぐ西側の露頭では最下部のテフラは In8 であり、In7 は認められないことから、この間には断層が推定される。In11 の上位には、層厚約 10m の凝灰質砂層と泥質砂層の細互層が重なる。この層準にはガラス質テフラが複数みられるが、In12～14 との対応はついていない。この細互層の上位には Kgl a, b, c テフラを挟む春日層基底の厚い塊状泥層が重なる。

春日層下部の Kg1 と Kg2 間の層準には、西から東への移動を示すスランプ構造が認められる (酒井, 1990)。この層準の層厚は西から東に約 3m 薄くなっている。スランプ層内には田村ほか (2006b) が T14 と呼んだ変形したガラス質テフラが認められ (図 3 (e), 図 4 (b)), 火山ガラスの分析結果から Kg1c の移動体と考えられている (鈴木・中山, 2007)。今回の調査ではスランプ層内に上記とは異なるガラス質テフラ (VA: 上位) と結晶質テフラ (CA: 下位) が確認できた (図 4 (b))。

Kg2b から Kg3 までの春日層は砂勝ち砂泥互層となり、大谷津切通し付近では木片を含む厚層砂層や破碎された泥岩礫層などの特徴的な岩相が発達する。これらの岩相の成因について、岡崎 (2015) は不安定な陸棚斜面における液状化の可能性を指摘した。この層準で Kg2.5 と新称したテフラは、酒井 (1990) の付図 1c で 10sdyPT と記載された細粒軽石層である。

Okazaki et al. (2022) はこの区間において犬吠層群を不整合で覆う香取層基底部に約 0.1Ma の On-Pm1 (町田・新井, 2003) を報告した (図 4 (b))。

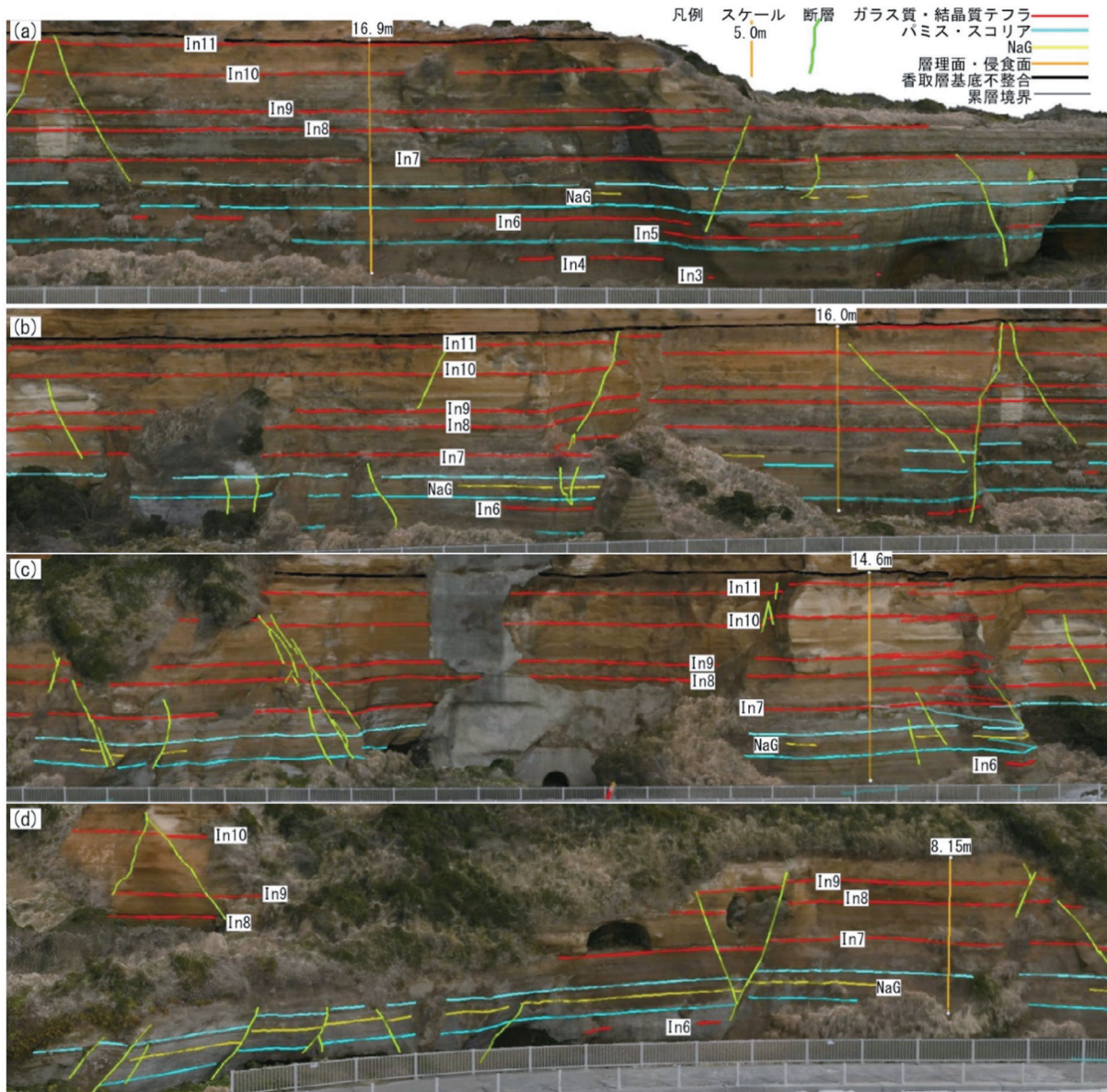


図2 千葉科学大西 (a) ~名洗東 (d) にかけての名洗層 (図は全て右が東側で, (a) から順に東から西に連続的に配置. 凡例は図7まで共通).

3.3 大谷津切通し~特別支援学校下切通し (図4, 5, 6)

Kg3からKg4の約5m上位までの春日層中部 (図4 (d) ~図4 (e)) は塊状泥層からなり, 複数の未命名ガラス質テフラを挟む. これより上位の春日層上部は砂泥互層からなり, それに重なる塊状泥層が小浜層基底となる. 小浜層基底~

Ob1間の層厚は約11mで, 特別支援学校下切通し (図6 (b)) はOb1とOb2の観察適地である. Takahashi et al. (2001) はOb2から約60m下位の春日層中部にかけてBy1~By31のテフラを記載し, 直方輝石の化学組成に基づきBy6=Ob1とBy7=Ob2を上総層群黄和田層のKd39とKd38に対比した (表1). Ob1の約10m下位の小浜層



図4 春日層基底層準 (a) ~ 春日層中部 Kg3 層準 (e).



図5 春日層中部 Kg3 層準 (a) ~小浜層下部 0b1 層準 (f).

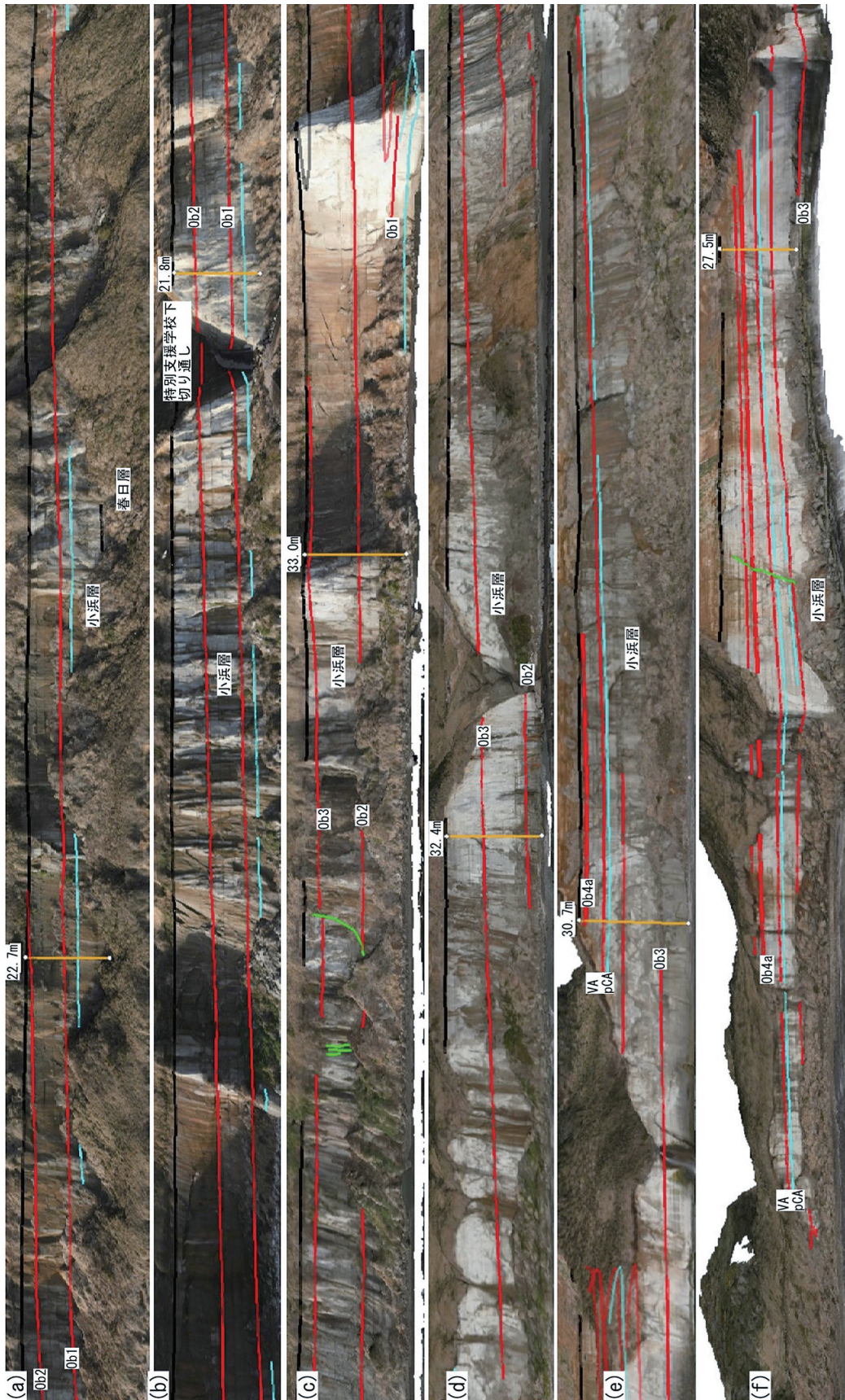


図6 小浜層下部0b1層準(a)～小浜層中部0b4a層準(f).

基底層準にある古地磁気境界は、オールドバイサブクロノゾーンの上限 (1.78 Ma) とされている (酒井, 1990).

3.4 特別支援学校下切通し～磯見川河口東 (図 6)

この区間では Ob1 の下位約 9m から Ob4a の上位約 9m までの小浜層が分布する。Ob3 は青灰色の特徴的なガラス質テフラで、鈴木ほか (2023) により Kd31B に対比された。Ob3～Ob4a 間には複数の未命名ガラス質テフラがあり、そのうちの 1 枚は鈴木ほか (2023) により Kd29 に対比された。

この区間における Ob4a は高標高部にあり直接観察できないが、その 5.2m 下位のガラス質テフラ (VA) と 6.6m 下位の茶色の酸化帯を伴う軽石質結晶質テフラ (pCA) の組を、図 6 (f) の中央および西端で観察することができる。

3.5 磯見川河口東～刑部岬 (図 7)

図 6 (f) でみられた Ob4a 下位のガラス質テフラ (VA) と軽石質結晶質テフラ (pCA) の組は、図 7 (a) では直接観察できないものの 3D データ画像上で確認できる。これらのテフラは、磯見川河口西の露頭 (図 7 (b)) において Ob4a の 5.3m 下位と 6.7m 下位で観察できる。これらのテフラのラインは 3D データの視点を傾斜方向にして河口の東西で見通すと、直線状あるいは平面状に投影されることからテフラおよび観察露頭の連続性が確認でき、河口に大きな断層などが無いことも確認できる。

Ob4a を境に泥層主体の下位から淘汰の悪い砂質泥と泥質砂の互層からなる上位に岩相が変化するため、図 7 (b) で直接観察できる Ob4a 層準は 3D データ画像上で図 6 (e) まで確実に追跡でき

る。Ob4a から Ob6a の下位 6.5m までの層準は特にテフラの挟在頻度が高い層準でもあり、鈴木・村田 (2011) などにより詳細な記載と上総層群テフラとの対比 (表 1) が行われた。また、この層準では石灰質ナノ化石基準面が集中することから時間間隙の存在もしくは堆積速度の極端な低下が指摘された (佐藤ほか, 1988 ; 藤岡・亀尾, 2004)。これについて、藤岡・亀尾 (2004) はこの層準の石灰質ナノ化石基準面を詳細に検討し、時間間隙ではなく堆積速度の低下が生じたことを明らかにするとともに、小浜層中部～上部に発達し Ob5a 直上にも顕著に認められる炭酸塩コンクリーションの成因についても考察した。その後、山本ほか (2019) は小浜層の底生有孔虫の酸素同位体比曲線を検討し、Ob5.6 の下位 4.1m に 13.2 万年の時間間隙があることを指摘した。この層準におけるこれらの古海洋学的・堆積学的課題を解明する上でもさらに詳細なテフラ層序の確立が寄与すると考えられる。

酒井 (1990) は、Ob7b の上面を小浜層と上位の横根層との境界として定義した。横根層のテフラ Yk1～Yk3a, b は、図 7 (f) の刑部岬露頭では高標高部にあり直接観察できないが、酒井 (1990) の記載、旭市八木から上永井にかけての露頭および銚子コア (Kameo et al., 2006) における知見を合わせてテフラ対比を行った。

Yk3b については、刑部岬の台地面から掘削されたボーリングにおいて、香取層基底から 3.5m 下位で確認された (岡崎, 2015)。Yk3b は上総層群梅ヶ瀬層の U2A に対比されている (佐藤, 2002)。Kameo et al. (2006) によれば Yk3b 層準は石灰質ナノ化石基準面⑤ (佐藤ほか, 1999) の上位で MIS22 から 21 への移行期に相当することから、屏風ヶ浦露頭における犬吠層群最上部の年代は約 0.85 Ma に相当する。

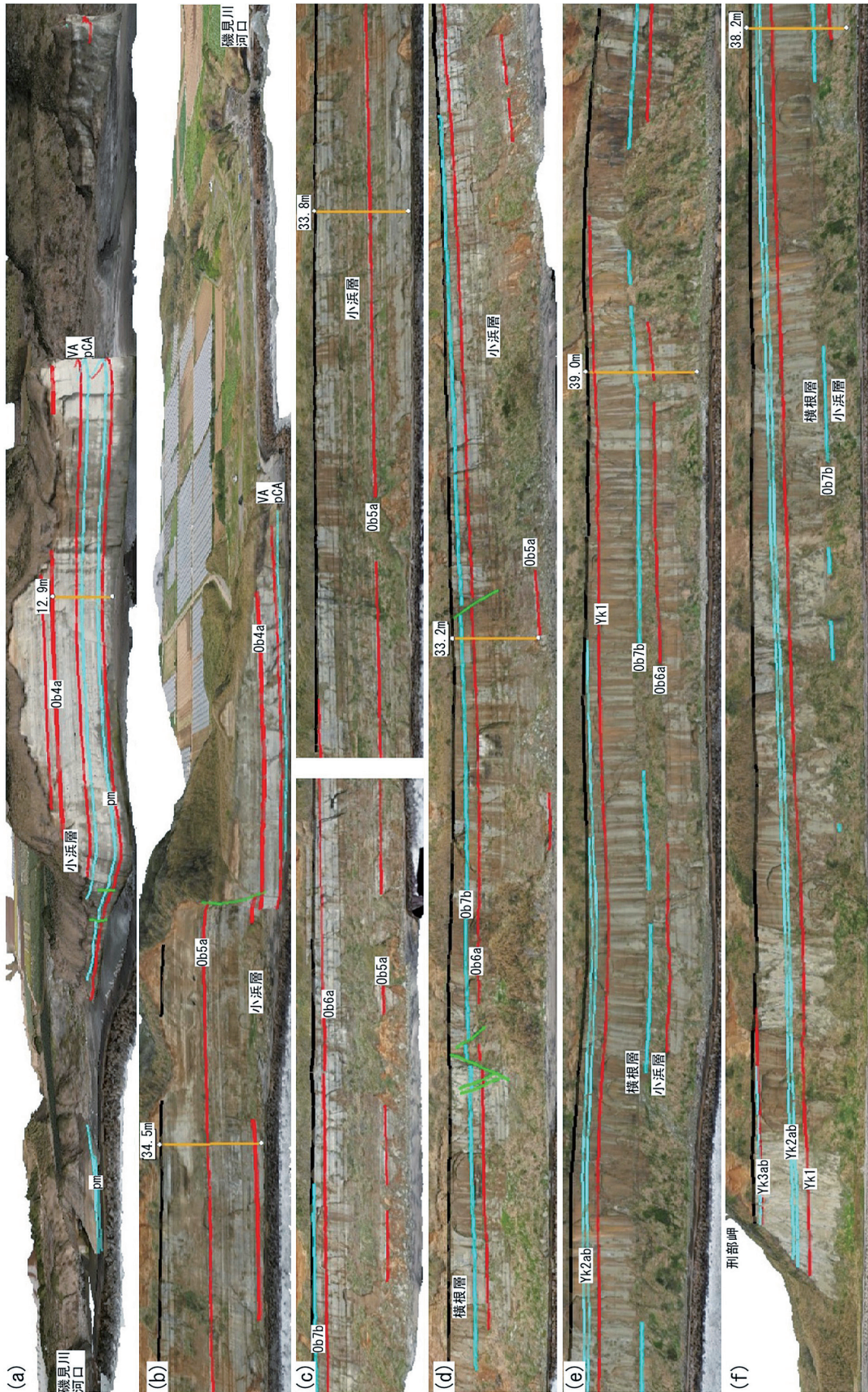


図7 小浜層中部Ob4a層準(a)～横根層下部Yk3a, b層準(f).

4. まとめ

屏風ヶ浦に露出する犬吠層群の3D写真測量データ上でテフラの分布を明らかにした。これらのテフラには広域対比されたものや年代が明らかなものも多く、銚子地域のみならず関東平野や日本列島の成り立ちを理解する上で重要な資料になると考えられる。今後、各テフラについて分析を進め、岩相写真、顕微鏡写真および記載岩石学的データを蓄積し、3DデータとリンクさせたGISコンテンツの充実を図ることが期待される。

謝辞

調査に当たり、銚子ジオパークガイドの伊藤修二氏には屏風ヶ浦の露頭状況についてご教示いただいた。ここに記して心より感謝の意を表します。

文献

Bassinot, F. C., Labeyrie, L. D., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N. J. and Lancelot, Y. (1994): The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth and Planetary Science Letters*, **126**, 91–108.

千木良雅弘 (2021): 日本最大の連続露頭: 屏風ヶ浦の断層フリー領域. 深田地質研究所年報, **22**, 1–20.

藤岡導明・亀尾浩司 (2004): テフラ鍵層に基づく銚子地域の犬吠層群小浜層と房総半島の上総層群黄和田層, 大田代層および梅ヶ瀬層との対比. 地質学雑誌, **110**(8), 480–496.

久光敏夫・岡田 誠 (1997): 銚子地域第四系犬吠

層群中部の火山灰層を用いた上総層群との直接対比. 日本地質学会第104年学術大会 講演要旨, 370.

Kameo, K., Okada, M., El-Masry, M., Hisamitsu, T., Saito, S., Nakazato, H., Ohkouchi, N., Ikehara, M., Yasuda, H., Kitazato, H. and Taira, A. (2006): Age model, physical properties and paleoceanographic implications of the middle Pleistocene core sediments in the Choshi area, central Japan. *Island Arc*, **15**(3), 366–377.

町田 洋・新井房夫 (2003): 新編 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 336p.

長橋良隆・里口保文・吉川周作 (2000): 本州中央部における鮮新—更新世の火砕流堆積物と広域火山灰層との対比および層位噴出年代. 地質学雑誌, **106**(1), 51–69.

中里裕臣・佐藤弘幸・奥田昌明・銚子コア研究グループ (2003): 千葉県北東部犬吠層群250mコアのテフラ層序. 日本地質学会第110年学術大会 講演要旨, 3.

Ogg, J. G. (2012): Geomagnetic polarity time scale. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. and Ogg, G. M., eds., *The geologic time scale*, Elsevier, Boston, 85–113.

岡崎浩子 (2015): 平成26年度銚子市文化財総合調査報告(屏風ヶ浦)—地質調査—. 銚子市, 36p.

Okazaki, H., Nara, M., Nakazato, H., Furusawa, A., Ito, K. and Tamura, T. (2022): Coastal progradation associated with sea-level oscillations in the later phase of the Last Interglacial period, central Japan. *Quaternary Science Reviews*, **285**, 107507.

酒井豊三郎 (1990): 千葉県銚子地域の上部新生界—岩相・古地磁気・放散虫化石層序—. 宇

- 都宮大学教養部研究報告, **23** (2), 1–34.
- 佐藤弘幸 (2002): テフラの屈折率による犬吠層群上部と上総層群の対比. 日本第四紀学会講演要旨集, **32**, 116–117.
- 佐藤時幸・亀尾浩司・三田 勲 (1999): 石灰質ナンノ化石による後期新生代地質年代の決定精度とテフラ層序. 地球科学, **53** (4), 265–274.
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗・亀尾浩司 (1988): 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序, その4: 総括—太平洋側および鮮新統/更新統境界の模式地との対比—. 石油技術協会誌, **53** (6), 475–491.
- Suganuma, Y., Okada, M., Head, M. J., Kameo, K., Haneda, Y., Hayashi, H., Irizuki, T., Itaki, T., Izumi, K., Kubota, Y., Nakazato, H., Nishida, N., Okuda, M., Satoguchi, Y., Simon, Q. and Takeshita, Y. (2021): Formal ratification of the Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Chibanian Stage and Middle Pleistocene Subseries of the Quaternary System: the Chiba Section, Japan. *Episodes*, **44** (3), 317–347.
- 鈴木毅彦・村田昌則 (2007): 福島県会津地域を給源とする前期更新世に噴出した白河隈戸火砕流とそれに伴うテフラ. 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, Q139-002.
- 鈴木毅彦・村田昌則 (2008): 東北南部会津地域を給源とする前期更新世に噴出した隈戸火砕流とそれに伴う降下テフラ. 第四紀研究, **47** (5), 339–348.
- 鈴木毅彦・村田昌則 (2011): 上総層群黄和田層とその相当層に介在するテフラの層序と対比. 地質学雑誌, **117** (7), 379–397.
- 鈴木毅彦・中山俊雄 (2007): 東北日本弧, 仙岩地熱地域を給源とする 2.0Ma に噴出した大規模火砕流に伴う広域テフラ. 火山, **52** (1), 23–38.
- 鈴木毅彦・白井正明・福嶋 徹 (2016): 関東平野南部における上総層群のテフロクロロジー. 地質学雑誌, **122** (7), 343–356.
- 鈴木毅彦・渡辺 樹・橋本真由・川畑美桜子・神馬菜々美・菅澤大樹・川島眞一・國分邦紀・川合将文・中山俊雄 (2023): 関東平野上総層群に含まれる約 1.65Ma に降下した 2 枚の前期更新世テフラ Ob3-Kd31B と SYG-Kd29 の認定とその意義. 日本地球惑星科学連合 2023 年大会予稿集, HQR03-02.
- Takahashi, N., Mitsuoka, T. and Yokoyama, K. (2001): Correlation of Tuffs Occurring Near the Boundary Between Tertiary and Quaternary in the Central Part of the Boso Peninsula and Choshi Area, Central Japan. *Memoirs of the National Science Museum, Tokyo*, **37**, 21–34.
- 田村糸子・水野清秀・山崎晴雄 (2019): 千葉県銚子地域に分布する犬吠層群名洗層のテフロクロロジー. 日本第四紀学会 2019 年大会講演要旨集, **49**, 52.
- 田村糸子・高木秀雄・山崎晴雄 (2010): 南関東に分布する 2.5Ma の広域テフラ: 丹沢—ざくろ石軽石層. 地質学雑誌, **116** (7), 360–373.
- 田村糸子・山崎晴雄・水野清秀 (2006a): 銚子地域犬吠層群の鮮新世広域テフラ: 三ツ松 (1.9Ma), 谷口 (2.3Ma), Hap2 (2.4Ma) テフラの挟在層準. 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集, Q126-008.
- 田村糸子・山崎晴雄・水野清秀 (2006b): テフラ対比に基づく銚子地域犬吠層群下部の堆積年代—春日層, 名洗層の指標テフラと三ツ松・

- 谷口・Hap2・南谷2 (2.65 Ma) テフラとの対比ー. 日本地質学会第 113 年学術大会 講演要旨, 66.
- 田村糸子・山崎晴雄・水野清秀 (2007) : 千葉県銚子地域犬吠層群最下部のテフラ層序と年代ー東海層群の指標テフラ層との対比ー. 日本第四紀学会 2007 年大会講演要旨集, 37, 38–39.
- 田村糸子・山崎晴雄・水野清秀 (2014) : テフラ対比に基づく千葉県銚子地域の鮮新ー更新統, 犬吠層群の堆積開始時期. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会予稿集, HQR24–04.
- 植木岳雪・田村糸子・岩本直哉 (2022) : 千葉県東部, 銚子周辺地域の鮮新ー更新世テフラと銚子ジオパーク. 地質学雑誌, 128(1), 345–369.
- 山本啓介・猪股裕行・桑野太輔・亀尾浩司・岩本直哉・岡田 誠 (2019) : 銚子地域に分布する海成下部更新統の微化石ー古地磁気ー酸素同位体複合層序. 日本第四紀学会講演要旨集, 49, 17.