

高知県室戸半島に分布する唐の浜層群穴内層ボーリングコア（ANA-1）の 非破壊物性解析

池原 実^{1,2}・岩井 雅夫^{1,2,3}・近藤 康生^{1,3}・北 重太⁴・服部 菜保⁵

(¹高知大学自然科学系理学部門・²高知大学海洋コア総合研究センター・³高知大学理学部地球科学コース・⁴林野庁中部森林管理局・⁵株式会社ソフテック)

Non-destructive Analyses of a Drilling Core ANA-1 from the Ananai Formation of the Tonohama Group on Muroto Peninsula, Kochi

Minoru IKEHARA^{1,2}, Masao IWAI^{1,2,3}, Yasuo KONDO^{1,3}, Shigetaka KITTA⁴ and Naho HATTORI⁵

¹ *Sciences Unit, Natural Sciences Cluster, Kochi University;* ² *Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University;*
³ *Earth Science, Department of Science, Kochi University;* ⁴ *Forestry Agency;* ⁵ *Softec Inc.*

Abstract: Late Pliocene forearc basin deposits of the Tonohama Group are exposed on the west coast of the Muroto Peninsula, Kochi. However, stratigraphical and paleontological data have been collected only from rather scattered and poorly exposed outcrops, and no detailed chronological and sequence-stratigraphic framework has been established. A new drilling core ANA-1 (70m length) was collected from the Ananai Formation, the uppermost unit in the Tonohama Group. Medical X-ray computed tomography (CT) was applied to non-destructive measurement of core ANA-1. The obtained CT images clearly showed sedimentary cycles, which are recognized by variations of sedimentary facies and basal shell beds. The physical properties of the core were also measured using a Multi-Sensor Core Logger (MSCL). Based on the lithology and non-destructive measurements, cyclic sediment deposition due to the eustatic sea-level changes was occurred on the continental slope off Shikoku during the late Pliocene.

キーワード：唐の浜層群穴内層，ボーリングコア，非破壊計測，堆積サイクル

Keywords: Ananai Formation, drilling core, non-destructive analysis, sedimentary cycle

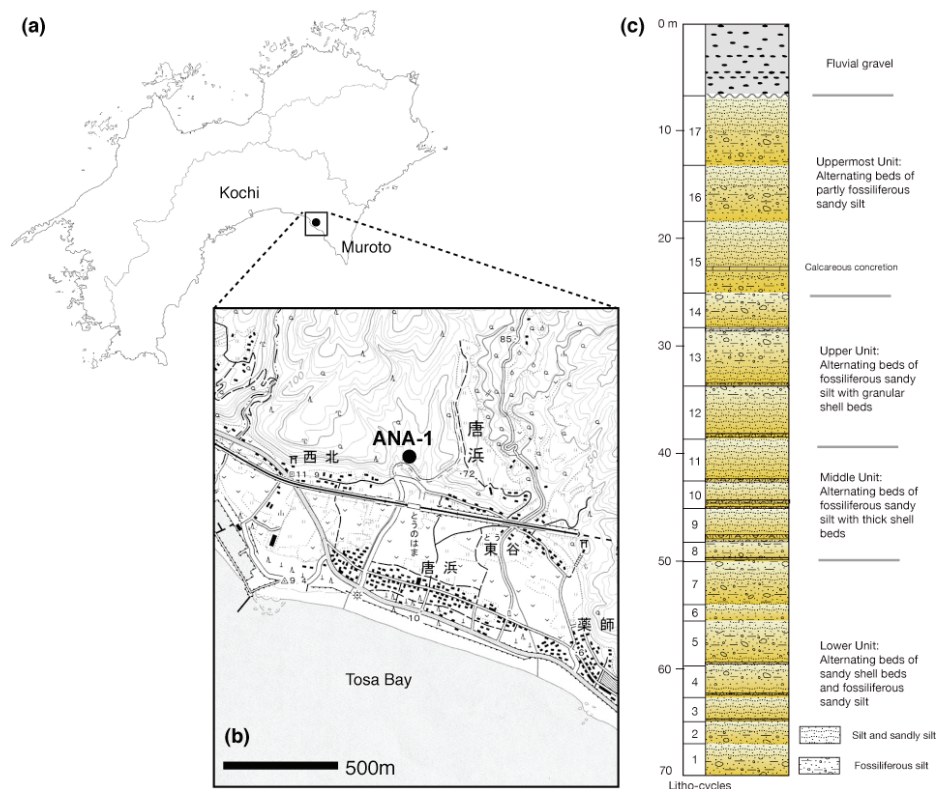
1. はじめに

高知県南東部の土佐湾沿岸には、多様な軟体動物化石や微化石を産する鮮新世の唐の浜層群(甲藤ほか, 1953)が点在している。唐の浜層群は、静岡の掛川層群、九州の宮崎層群、沖縄の島尻層群などとともに、鮮新世の日本列島周辺域の環境変動やテクトニクスを探る上で数少ない情報源となる地質体である。唐の浜層群は化石の産出状況が比較的良好なことから、古くから層序や堆積相に関する研究が行われてきており、岩井ほか(2006)にその研究史および層序の概要がまとめられている。唐の浜層群の最上位部層と考えられている穴内層は、浮遊性微化石から推定される年代が2.78 or 2.73~1.97Maと見積もられている(MATSUBARA, 2004)。また、穴内層には、氷期-間氷期スケールの氷河性海水準変動によって形成されたと考えられる海進・海退を示す堆積相サイクルが認められている(近藤, 2005)。貝化石群集に基づくと、穴内層の古水深は深いときで約100mであり、主な堆積場は陸棚上と考えられている。このように明瞭な堆積サイクルや古環境情報を持つ優位性を活かし、さらに高精度な古環境復元を連続的に行うために、2005年度後半に穴内層での陸上掘削が行われた。本小論では、穴内層ボーリングコアの非破壊解析の概要を報告する。

2. 試料と分析

2-1. 試料

試料は穴内層を掘削したボーリングコア ANA-1 (33°26'N, 133°57'E) である(第1図)。ANA-1の全長は70mである。ANA-1コアの堆積物は主に灰色を呈するシルト質砂から泥である。コア全体に貝化石が散在し、ところどころに貝化石密集層が存在する。本コアには、露頭で見られる堆積サイクルに相当する岩相サイクルがコア最下部から数えて17サイクル認定された(第1図(c)) (KONDO et al., 2006)。そのうちサイクル8~17は、唐の浜駅北方の道路沿いの陸上セクションで観察された穴内層の堆積サイクルに対応すると考えられている。また、サイクル1~7は陸上セクションでは露頭が散点的であるため対比が難しいが、上位のサイクルと異なり岩相の周期的変化は不明瞭である。



第1図. 唐の浜層群穴内層ボーリングコア ANA-1 の採取地点と岩相層序. (a) 四国全図における穴内層コアの位置. (b) ANA-1 掘削地点付近の拡大図. 国土地理院 2万5千分の1地形図「安芸」より抜粋加筆. (c) 穴内層コア ANA-1 の岩相層序 (KONDO et al., 2006).

Fig. 1. Location map and lithostratigraphy of the Ananai Formation drilling core ANA-1. (a) Core location in the Shikoku Island. (b) Close-up location map of drilling core ANA-1. (c) Lithostratigraphy of the Ananai Formation drilling core ANA-1 (after KONDO et al., 2006).

2-2. X線CTスキャナおよびマルチセンサーコアロガーによる非破壊解析

ANA-1 コアの非破壊物性計測は、高知大学海洋コア総合研究センターに設置された複数の装置を用いて行われた。まず、X線CTスキャナーシステム PRATICO (日立メディコ社製) を用いて、ANA-1 をホールコアの状態でのX線透過画像撮影 (スキャノグラム; 0.88 mm/pixel) した。また、コア連続画像撮影装置 (アルファコム社製) を用いて、ホールコア側面のデジタルイメージ撮影を行った。次に、マルチセンサーコアロガー (MSCL, GEOTEK 社製) を用いた非破壊物性測定 (帯磁率, ガンマ線密度, 弾性波速度, 電気比抵抗) を行った。MSCL の計測間隔は2cm であった。

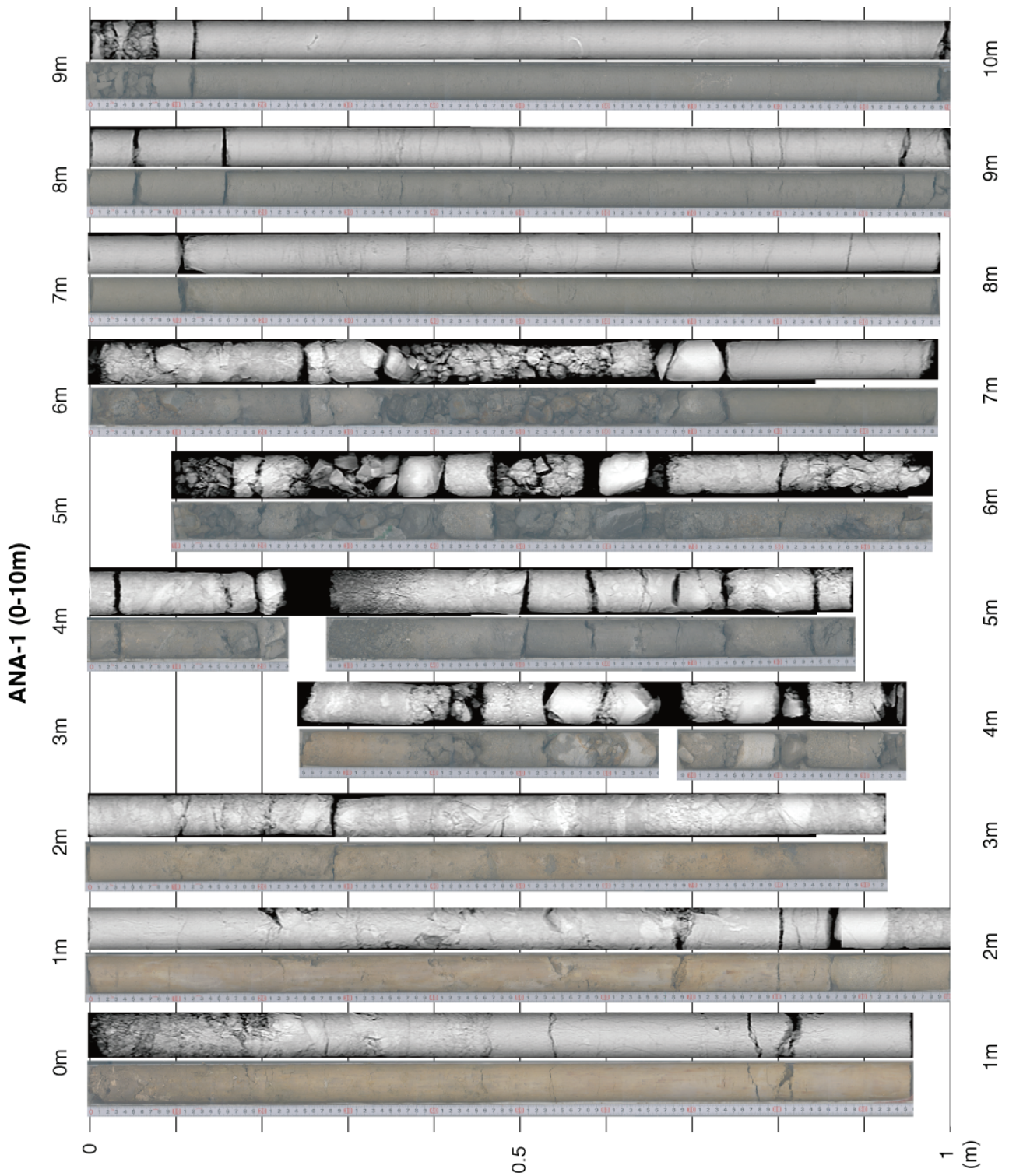
3. 結果と考察

3-1. ANA-1 コアの X 線 CT イメージとカラーイメージ

ANA-1 コアの X 線 CT イメージとコア表面のカラーイメージを 1 m セクションごとに並べて表示した (第 2 図~第 8 図)。X 線 CT スキャナは、非破壊でコアの内部構造の観察や物性分布を計測することができる装置であり、海底や湖底から採取したコア試料の初期解析に広く利用されている (池原, 1997, 2003)。このような非破壊物性計測の手法は四国沖の海洋コアにも応用されており、火山灰層の堆積様式の半定量的解析などが行われている (池原ほか, 2006)。

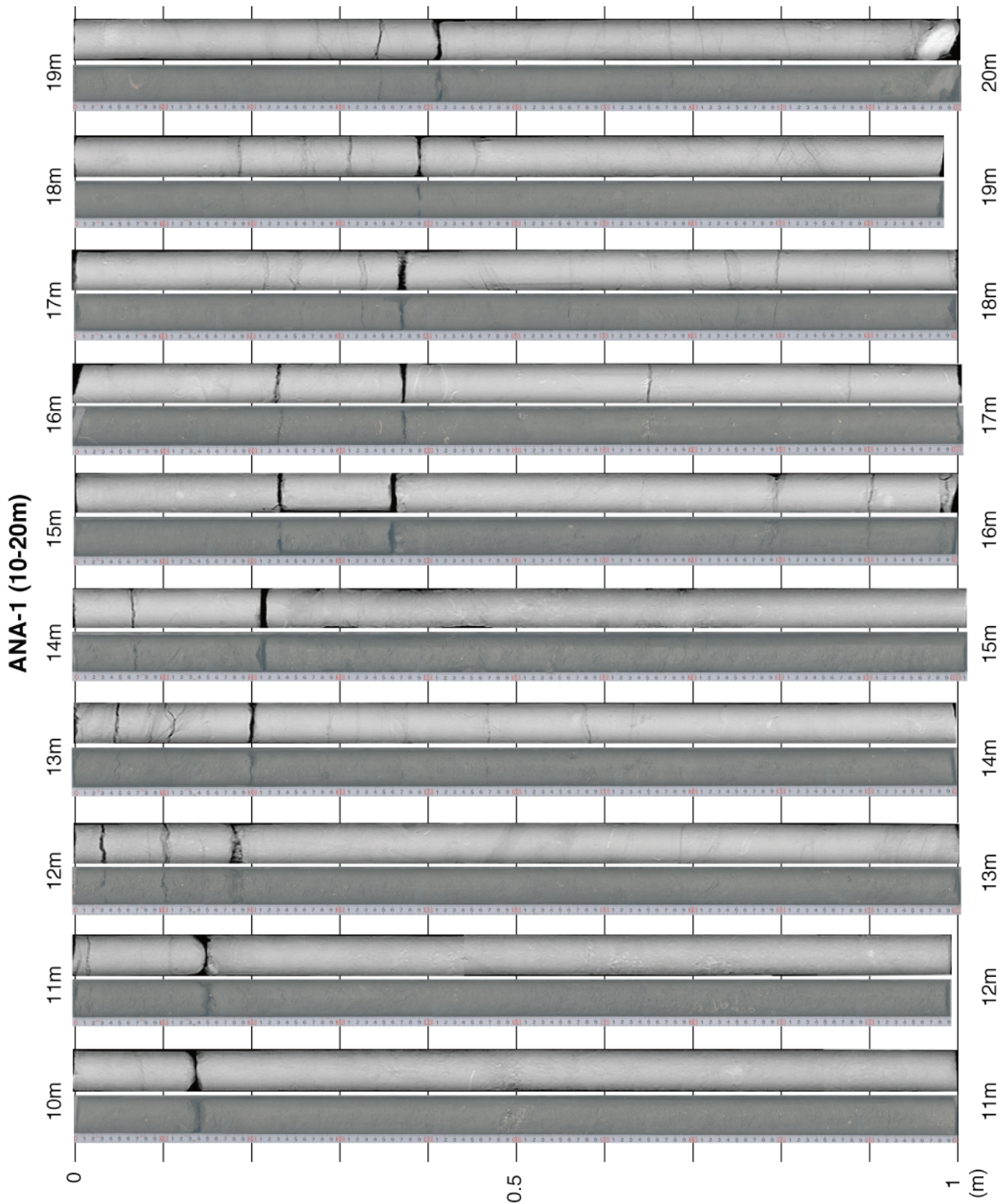
ANA-1 コア上部の約 6.65m は段丘堆積物であり、約 6.65m の不整合を境に、それより上位では堆積物が破碎されているが、それより下位では半固結した堆積物が採取されている (第 2 図)。ANA-1 コアで認められる堆積サイクルの基底は、貝化石密集層で認定されている。貝化石密集層は、海退によって海水準が最も下がり、海面が最も浅くなったときに、嵐によって陸棚上を流れ下ってきた堆積物であると考えられている。陸上セクションでは、貝化石密集層の直上付近においてハンモック状斜交層理が観察される (近藤, 2005) ことから、貝化石密集層がストーム時の堆積物であることを支持する。堆積サイクル 13/14 境界 (約 28.3m) (第 4 図)、12/13 境界 (約 33.75m) (第 5 図)、11/12 境界 (約 38.4m) (第 5 図)、10/11 境界 (約 42.4m) (第 6 図)、9/10 境界 (約 45m) (第 6 図)、8/9 境界 (約 47.5m) (第 6 図)、7/8 境界 (約 49.85m) (第 6 図) は、それぞれ貝化石密集層を伴った堆積サイクル境界である。ANA-1 コアにおいて貝化石密集層が明瞭に認められない層準においても、粒度変化や堆積相を基に堆積サイクルが認定されている (KONDO et al., 2006)。堆積サイクル中に産出する貝化石から、穴内層堆積時の古水深は最も浅いときで約 30~60m、最も深いときで約 100m であったと推察されており、大部分の穴内層は大陸棚上で堆積した堆積体である (近藤, 2005)。また、堆積物の粒径は堆積サイクル基底から中位に向かって徐々に細粒 (泥がち) となり、サイクル中位から上位に向かって徐々に粗粒になる傾向を示す。

X線CTイメージからは、陸上セクションの観察から明らかとなっている炭酸塩コンクリーション (近藤, 2005) が明瞭に観察される。例えば、約 23.3-23.6m の X 線 CT イメージは白っぽくなっていることから、そこには X 線の透過率が低い物質が存在すること、つまりその部分の密度が他の部分より明らかに高いことを示している (第 4 図)。同様のコンクリーションは、19.96m や 46.6m 付近でも観察される (第 3 図)。また、約 33.5m 付近の X 線 CT イメージでは、二枚貝のベニグリ (*Glycymeris rotunda*) の産出状態を観察することが出来る (第 5 図)。



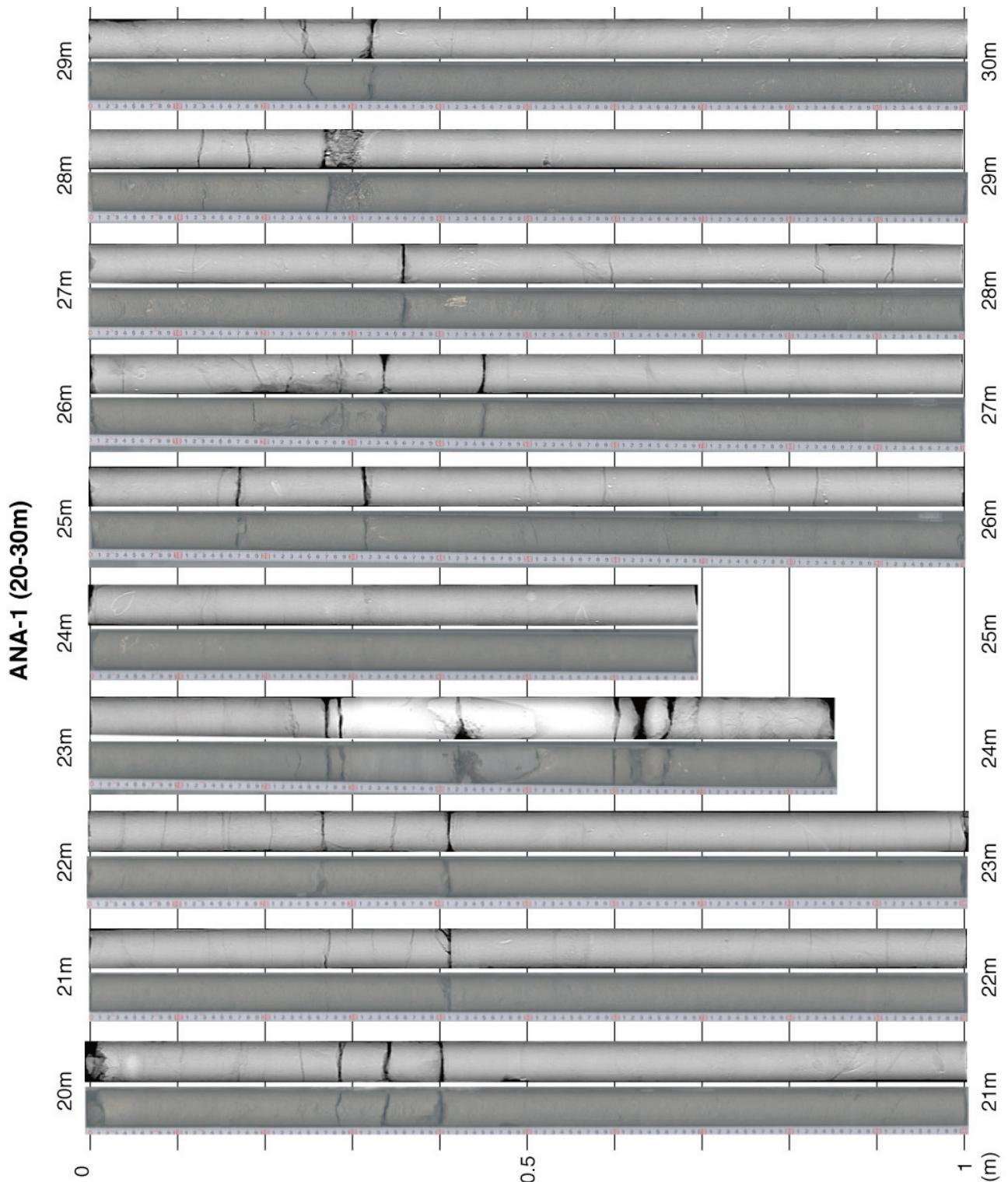
第2図. 穴内層ボーリングコア ANA-1 (0-10m) の写真とX線CTイメージ. 約1mのセクションごとに左に写真を右にCTイメージを並べてある.

Fig. 2. Core photograph and X-ray CT image of drilling core ANA -1 (0-10m). Core photographs of each 1 m section core are shown left, and X-ray CT images are also shown light.



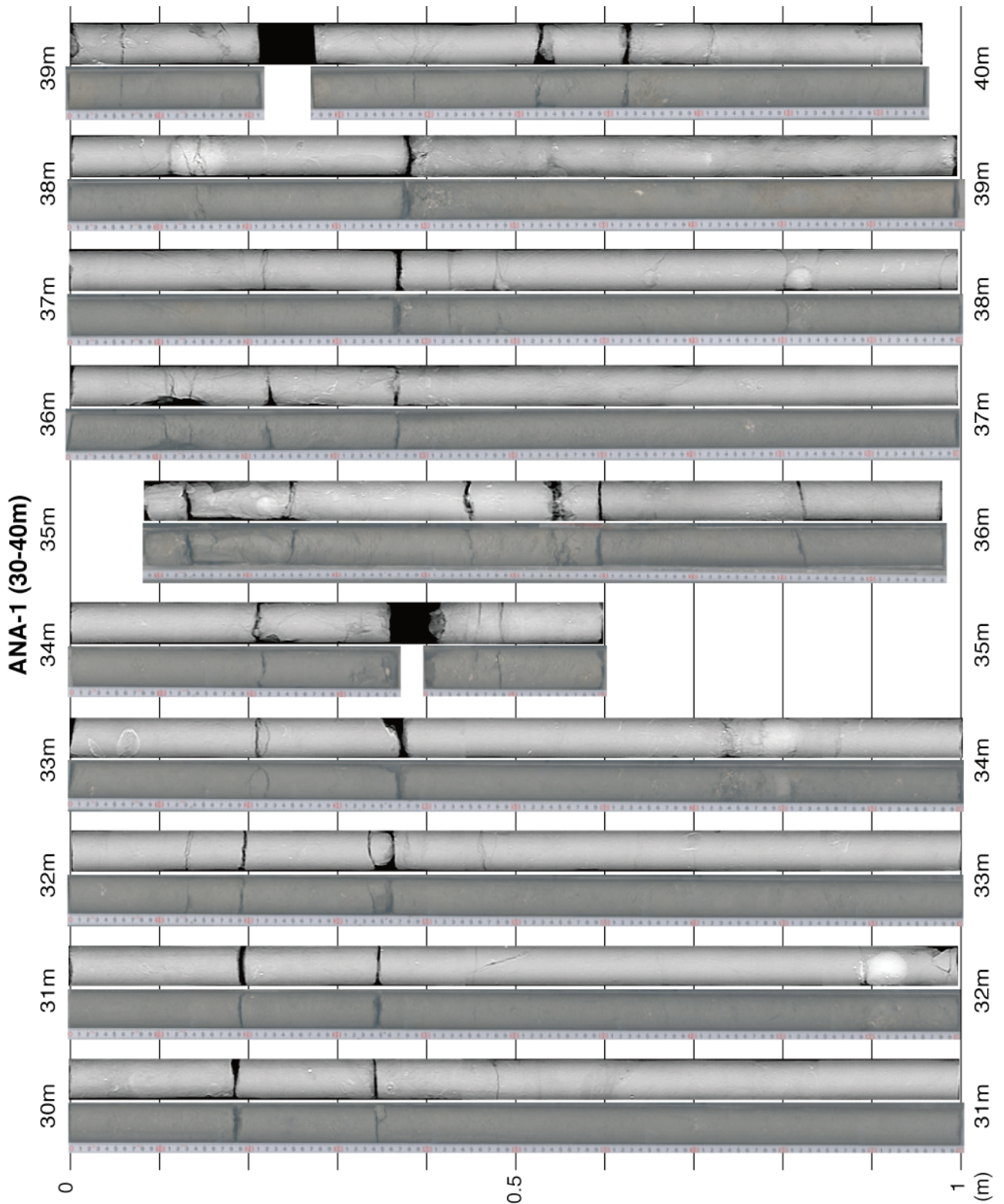
第3図. 穴内層ボーリングコア ANA-1 (10-20m) の写真とX線CTイメージ. 約1mのセクションごとに左に写真を右にCTイメージを並べてある.

Fig. 3. Core photograph and X-ray CT image of drilling core ANA -1 (10-20m). Core photographs of each 1 m section core are shown left, and X-ray CT images are also shown light.



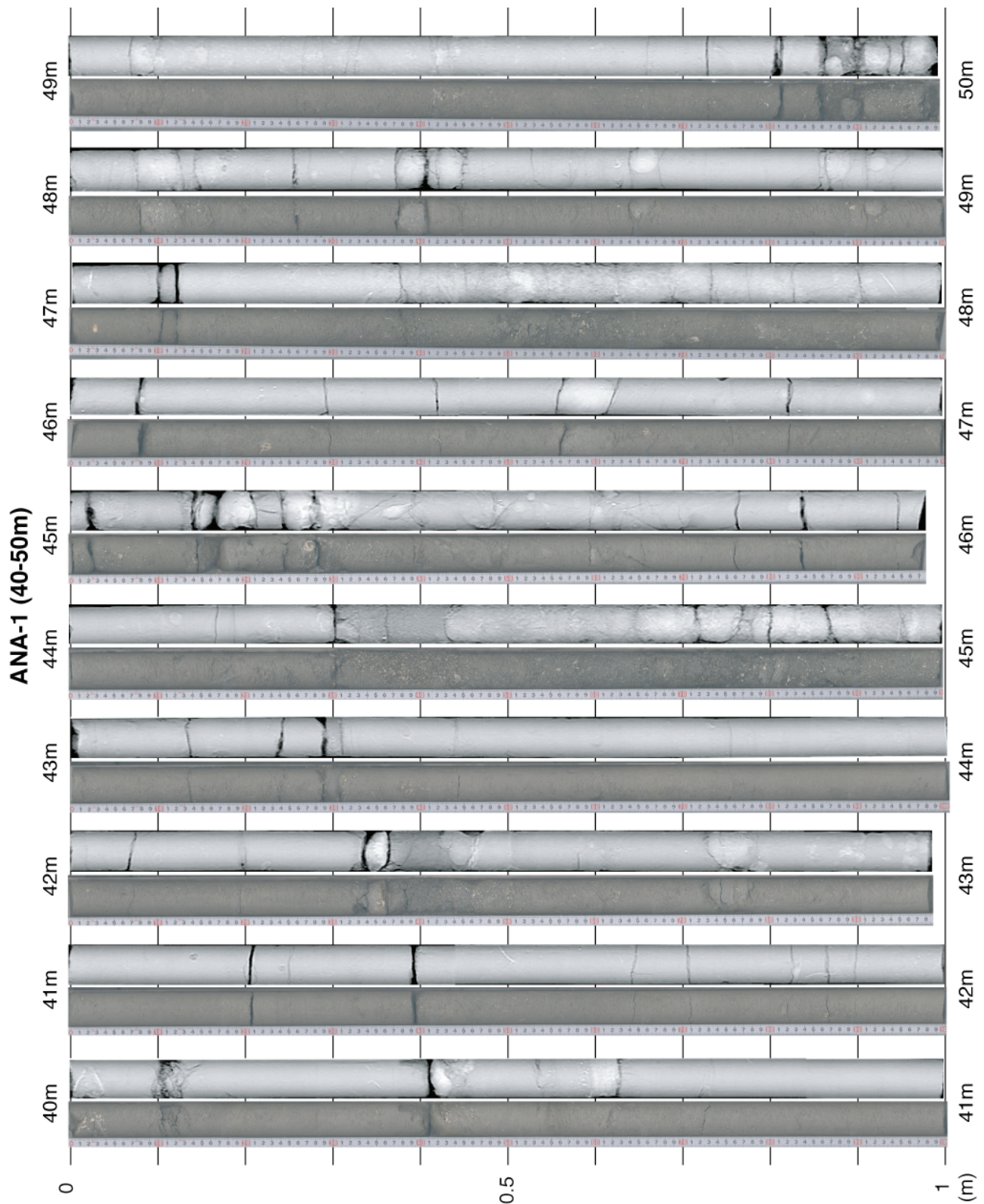
第4図. 穴内層ボーリングコア ANA-1 (20-30m) の写真とX線CTイメージ. 約1 mのセクションごとに左に写真を右にCTイメージを並べてある.

Fig. 4. Core photograph and X-ray CT image of drilling core ANA-1 (20-30m). Core photographs of each 1 m section core are shown left, and X-ray CT images are also shown light.



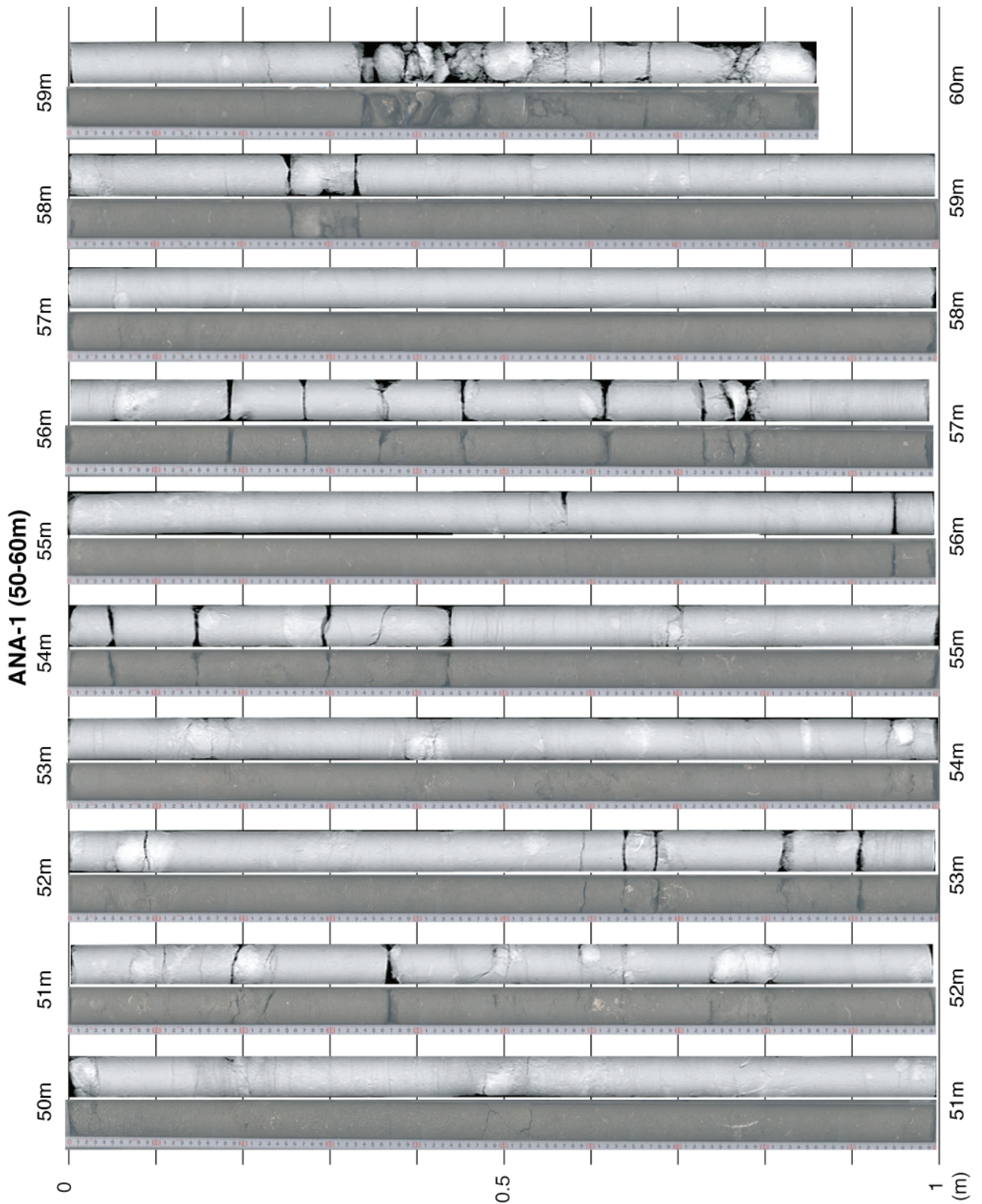
第5図. 穴内層ボーリングコア ANA-1 (30-40m) の写真とX線CTイメージ. 約1mのセクションごとに左に写真を右にCTイメージを並べてある.

Fig. 5. Core photograph and X-ray CT image of drilling core ANA -1 (30-40m). Core photographs of each 1 m section core are shown left, and X-ray CT images are also shown light.



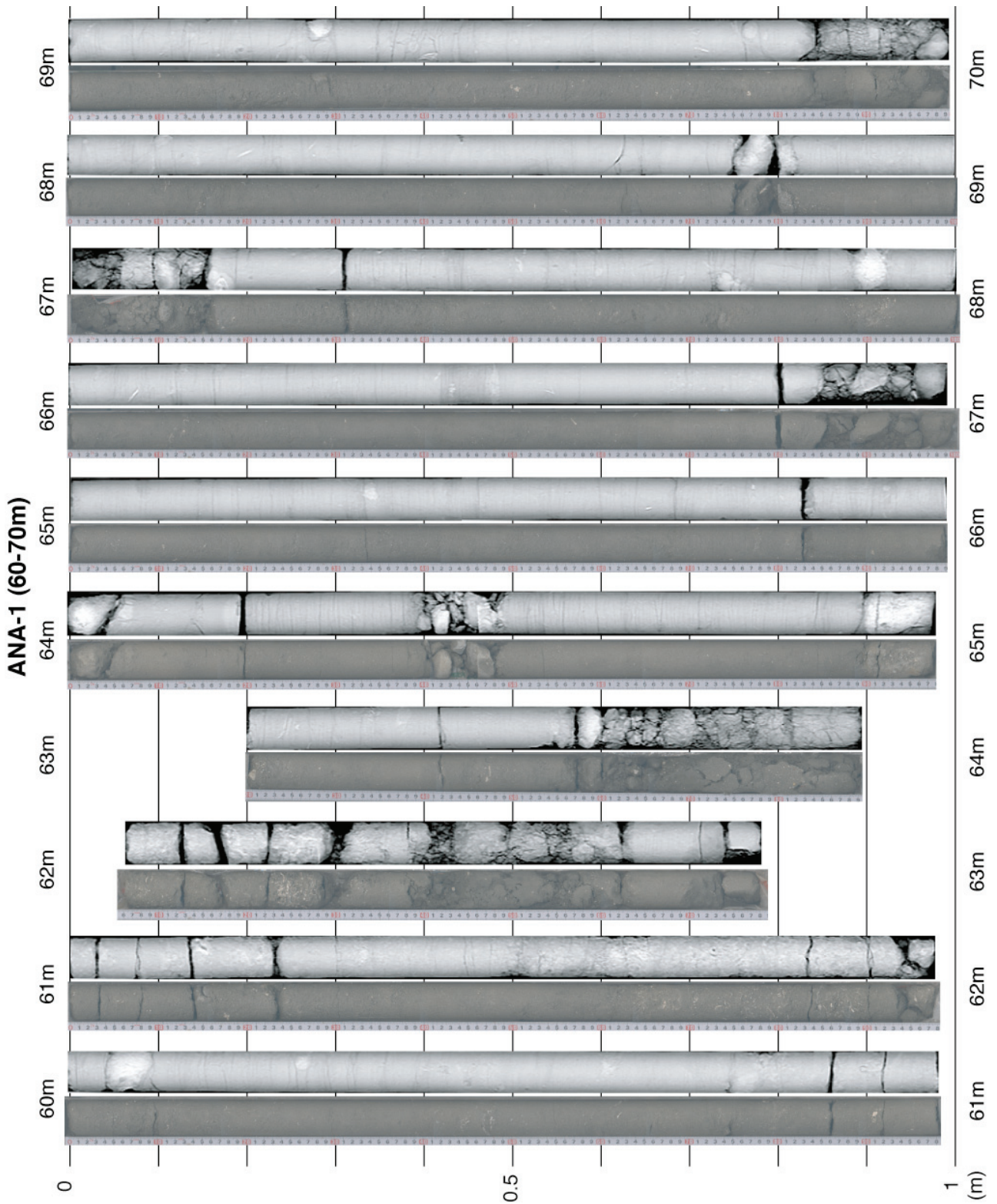
第6図. 穴内層ボーリングコア ANA-1 (40-50m) の写真とX線CTイメージ. 約1mのセクションごとに左に写真を右にCTイメージを並べてある.

Fig. 6. Core photograph and X-ray CT image of drilling core ANA-1 (40-50m). Core photographs of each 1 m section core are shown left, and X-ray CT images are also shown light.



第7図. 穴内層ボーリングコア ANA-1 (50-60m) の写真とX線CTイメージ. 約1mのセクションごとに左に写真を右にCTイメージを並べてある.

Fig. 7. Core photograph and X-ray CT image of drilling core ANA-1 (50-60m). Core photographs of each 1 m section core are shown left, and X-ray CT images are also shown light.

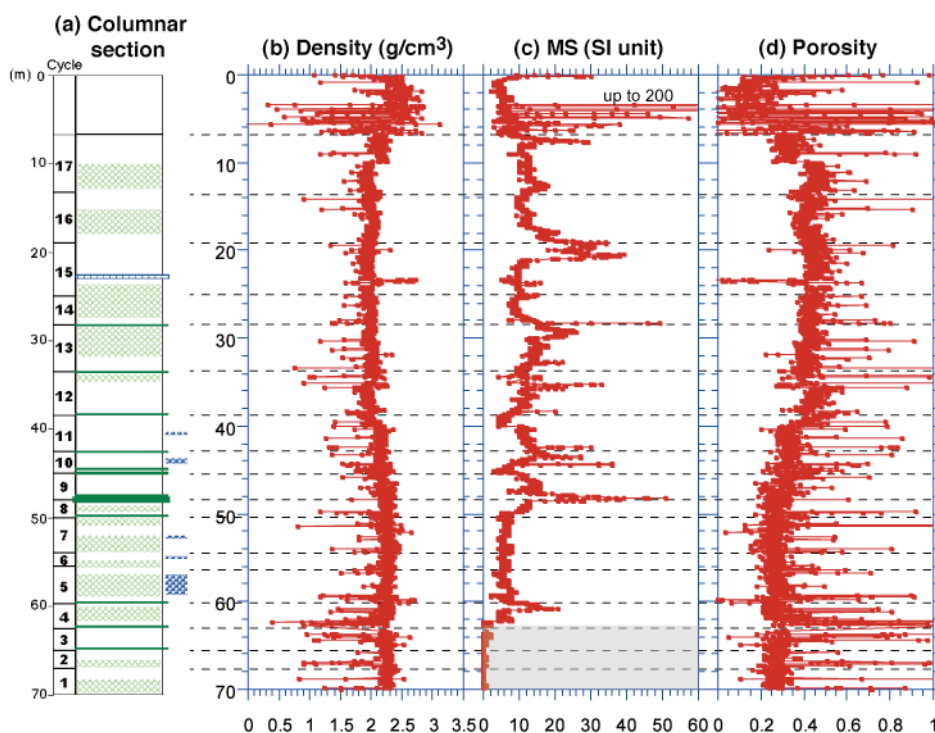


第8図. 穴内層ボーリングコア ANA-1 (60-70m) の写真とX線CTイメージ. 約1mのセクションごとに左に写真を右にCTイメージを並べてある.

Fig. 8. Core photograph and X-ray CT image of drilling core ANA -1 (60-70m). Core photographs of each 1 m section core are shown left, and X-ray CT images are also shown light.

3-2. ANA-1 コアの非破壊物性データ

MSCLによるANA-1コアの非破壊計測の結果を第9図に示した。コア上部の段丘堆積物に相当する部分(0-6.65m)は、計測データのバラツキが大きい。また、掘削中に生じたコアの断裂(クラック)部の計測データは、バルク密度では負のノイズとして、間隙率では正のノイズとして現れている。従って、それらのノイズを除いた上で、それぞれのパラメーターの大局的な変化を見ることが必要である。バルク密度は概ね $2.0\sim 2.5\text{g/cm}^3$ の値を示し、コア上部の段丘堆積物と約50m以深のコア下部で若干大きい値をとる傾向を示した。帯磁率は周期的に高いピークを示す。特に、堆積サイクル境界付近で帯磁率の正のピークが認められる(第9図)。これは、堆積サイクル境界付近の貝化石密集層に、磁性鉱物粒子が濃集していることを示唆する。磁性鉱物粒子の増加は、海退期において穴内層堆積場である陸棚への陸起源物質供給量が増加したことを意味している。しかしながら、すべての堆積サイクル境界において帯磁率が増加しているわけではないので、それぞれの堆積サイクル境界の特徴と堆積様式を考察する上では注意が必要である。また、間隙率の変化は概ね密度の深度変化と鏡像関係を示しており、コア上部と下部において間隙率が小さい傾向を示した。23.5m付近に産出する炭酸塩コンクリーション部では、バルク密度が正の異常を示し、間隙率が負の異常を示した(第9図)。



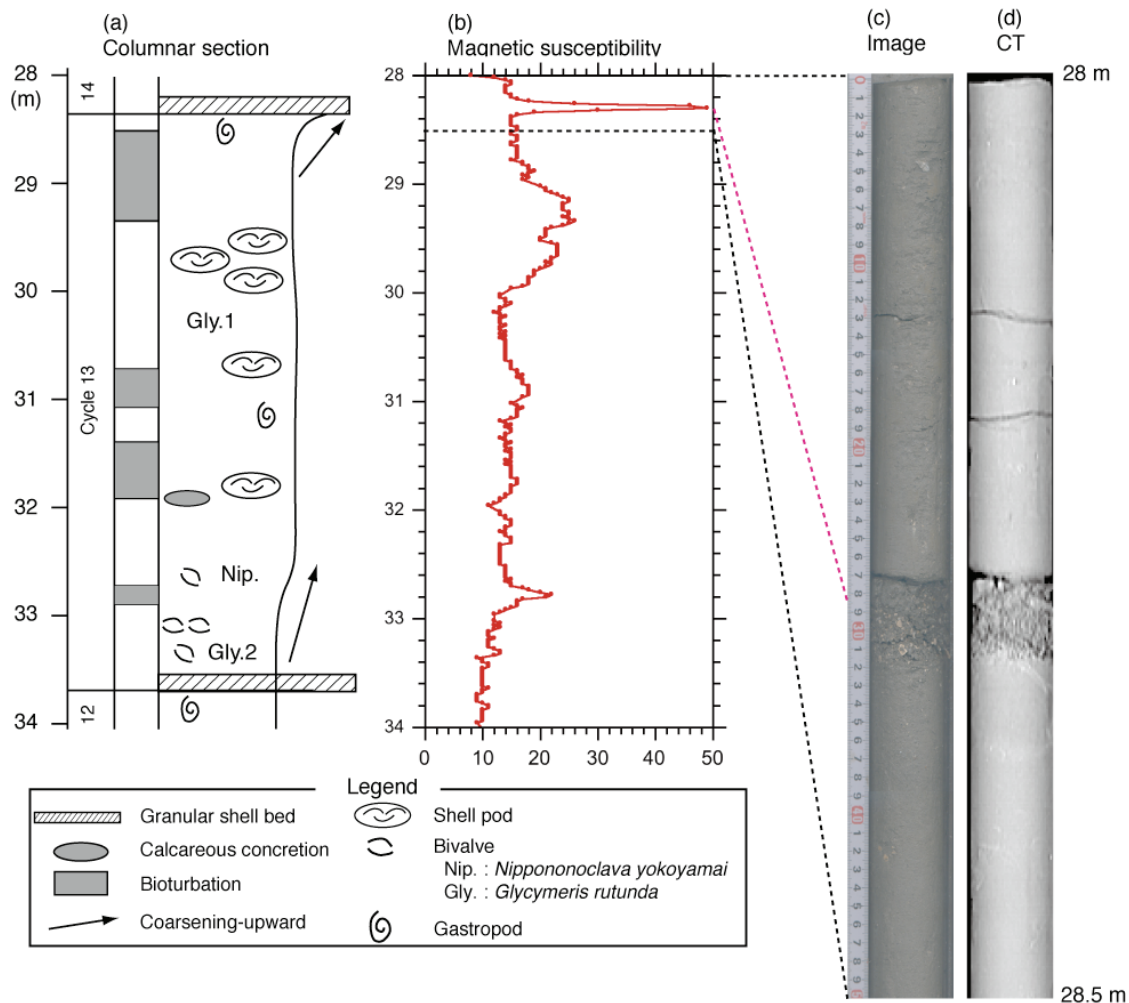
第9図. 穴内層ボーリングコア ANA-1 の非破壊計測結果. (a) 岩相柱状図, (b) バルク密度, (c) 帯磁率, (d) 間隙率. 柱状図に緑色の模様がついているところは、生物攪拌が認められることを示す。柱状図中の青色縦縞模様は、石灰質コンクリーションを示す。図中の点線は堆積サイクル境界を示す。

Fig. 9 Variations versus depth of non-destructive measurements for the drilling core ANA-1. (a) Columnar section, (b) bulk density, (c) magnetic susceptibility, and (d) porosity. Bioturbation is indicated as a green pattern on the columnar section. Blue symbols on the columnar section show calcareous concretions. Dotted lines show the boundary of sedimentary cycles.

3-3. ANA-1 コアの堆積サイクル13

ANA-1 コアの堆積サイクル13の岩相柱状図、帯磁率、コア写真、X線CTイメージを第10図に示した。堆積サイクル13は、その上下の堆積サイクルとの間に明瞭な貝化石密集層が挟在しているとともに、堆積サイクル内の堆積相変化や貝化石の産出状態も観察しやすい。堆積サイクル基底の貝化石密集層の直上には、二枚貝のベニグリが多数産出するとともに、堆積物の粒径は上方粗粒化を示す。サイクル中位では貝化石濃集部が点在する。32m付近には炭酸塩コンクリーションが挟在する。サイクル最上位では、再び上方粗粒化を示し、上位の堆積サイクル14の基底の貝化石密集層に至る。28m~28.5mのコア写真とX線CTイメージ(第10図c,d)では、貝化石密

集層が明瞭に認められる。



第10図. 穴内層ボーリングコア ANA-1の堆積サイクル13の (a) 岩相柱状図, (b) 帯磁率, (c) カラーイメージ, (d) X線CTイメージ.
 Fig. 10. Columnar section (a), magnetic susceptibility (b), core photograph (c), and X-ray CT image (d) for the sedimentary cycle 13 of drilling core ANA-1.

4. まとめ

高知県南東部に分布する唐の浜層群穴内層を掘削したボーリングコアの非破壊計測を行った。その結果、岩相層序に対応する堆積構造、堆積サイクル、貝化石密集層、炭酸塩コンクリーションなどが観察された。コア堆積物のバルク密度は2.25g/cm³を示し、コア下部で高くなる傾向を示した。堆積サイクル境界である貝化石密集層の多くで、帯磁率が正のピークをとることがわかった。しかし、全ての貝化石密集層や堆積サイクル境界である粗粒堆積物層において帯磁率が増加するわけではない。今後、さらに堆積相解析と非破壊物性解析の情報を統合し、ANA-1 ボーリングコアで繰り返し観察される堆積サイクルと貝化石密集層の特徴を浮き彫りにすることによって、氷河性海水準変動による海進海退プロセスと穴内層の堆積環境変化を考察していく必要がある。

穴内層が堆積したと考えられている後期鮮新世は、現在よりも温暖な気候 (mid-Pliocene warmth) (RAYMO et al., 1996) から、氷期間氷期サイクルの卓越する気候システムへの移行期として、古気候古海洋研究で重要視されている。しかしながら、この時代の北西太平洋における海洋環境変遷の復元例はごく限られる。したがって、海進海退に伴う堆積サイクルが明瞭に観察され、かつ、連続的な堆積物試料が得られた穴内層ボーリングコアは、その時代の日本列島南岸域の古環境変動を詳細に復元することができる絶好の試料である。今後、穴内層ボーリングコアを活用して様々な古環境プロキシーを用いた古気候古海洋研究の進展が期待される。

謝辞

高知大学海洋コア総合研究センター技術補佐員の和詩賀子さん(現:マリンワークジャパン),長野正寛氏(現:シュルンベルジェ株式会社),石黒尋希氏(現:国立室戸青少年自然の家)には,X線CTスキャナおよびマルチセンサーコアロガーの操作をしていただいた。高知大学理学部の学生諸氏には非破壊計測の一部を手伝って頂いた。以上の方々に深謝する。本研究は,高知大学学長裁量経費(平成17年度)による支援を得た。

引用文献

- 池原 研, X 線 CT 装置を用いた地質試料の非破壊観察と測定(1)ーX 線 CT 装置の原理・概要と断面観察ー, *地質ニュース*, **516**, 50-61 (1997).
- 池原 研, 堆積物コアの X 線 CT スキャンによる高分解能環境変動の解析, *月刊地球 号外 No. 42*, 54-60 (2003).
- 池原 実・村山雅史・多田井修・外西奈津美・大道修宏・川幡穂高・安田尚登, 四国沖から採取された 2 本の IMAGES コアを用いた第四紀後期におけるテフラ層序, *化石*, **79**, 60-76 (2006).
- 岩井雅夫・近藤康生・菊地直樹・尾田太良, 鮮新統唐の浜層群の層序と化石, *地質学雑誌*, **112** 補遺, 27-40 (2006).
- 甲藤次郎・中村純・高柳洋吉, 唐ノ浜層群の層序と微古生物的考察, *高知大学学術研究報告*, **2**, 1-15 (1953).
- 近藤康生, 鮮新統唐の浜層群穴内層の海進海退サイクル: 安田町唐の浜での野外観察, *高知地学研究会会報*, No. **29**, 4-8 (2005).
- KONDO, Y., IWAI, M., and KODAMA, K., Muroto Project: Scientific Drilling of the Late Pliocene forearc deposit on the west coast of Muroto Peninsula, Shikoku, Japan, *Scientific Drilling*, **3**, 38-39 (2006).
- MATSUBARA, T., Catalogue of the Pliocene Mollusca from the Tonohama Group in Kochi Prefecture, Shikoku, Japan, *Nature and Human Activities*, No. **8**, 49-95 (2004).
- RAYMO, M.E., GRANT, B., HOROWITZ, M., and RAU, G.H., Mid-Pliocene warmth: stronger greenhouse and stronger conveyor, *Marine Micropaleontology*, **27**, 313-326 (1996).

平成22年 (2010) 12月14日受理

平成22年 (2010) 12月31日発行