

垂坂断層近傍のボーリングと地質構造 All-core drilling near the Tarusaka Fault and geological structure in Yokkaichi City, Mie Prefecture, central Japan

小松原 琢^{1*}・奥田博之²・末廣匡基²・秋永康彦²・澤田基貴²・本郷美佐緒³
KOMATSUBARA Taku^{1*}, OKUDA Hiroyuki², SUEHIRO Masaki², AKINAGA Yasuhiko²,
SAWADA Motoki² and HONGO Misao³

Abstract: A 40-meter depth all-core drilling was carried out near seismic prospecting line crossing the “inferred Tarusaka Fault” and terrace deposits (shallower than 10-meter depth) and Ooizumi Formation in Tokai Group were recognized in the core. The Ooizumi Formation dips about 10 degrees in gradient. This dip is similar to them of the reflection planes in the Tokai Group. The Seismic profiling and correlation with drilling data surrounding the exploration sites made clear that the southwestward gentle dipping structure discovered by seismic profile and this drilling have initiated since after deposition of the Ooizumi Formtion (latest Pliocene to Early Pleistocene) and have mostly developed in the late Quaternary.

Keywords: Ise Plain, all-core drilling, stratigraphy, terrace deposits, seismic velocity logging, pollen analysis

要 旨

「垂坂推定断層」の反射法探査測線近傍で深度 40 m のオールコアボーリングを実施し、段丘堆積物（深度 10 m 以浅）と東海層群・大泉層を確認した。大泉層は 10° 前後傾斜する。この傾斜は、反射法地震探査によって得られた東海層群の傾斜と同程度である。また、周辺地域の既往土質調査ボーリングデータと対比することにより、反射法地震探査や今回のボーリングに出現した南西傾斜構造が、大泉層堆積（鮮新世末期ないし前期更新世前期）以降に活動を開始し、第四紀後期に大きく成長したことが明らかになった。

1. はじめに

四日市市の中心市街北側に推定されていた「垂坂断層」が活断層であるか否かを判定する目的で、令和元年度に反射法地震探査とともにオールコアボーリングを実施した。この反射法地震探査により、①垂坂断層が想定されていた崖地形は段丘崖であること、②段丘崖周辺の幅 1 km 以上の区間で東海層群が 6°～15°の勾配で南西に傾斜していること、が明らかになった（小松原ほか, 2020）。この反射法探査と併せて、堆積物の層位を確定することを目的として、垂坂断層の南西

側、反射法探査測線の CMP No.330 付近（第 1 図：四日市市西阿倉川町楠の木園内：北緯 34°59'22.33", 東経 136°37'10.52", 孔口標高 12.247 m）において、深度 40 m のオールコアボーリング（孔名：YTRS）と弾性波速度測定（速度検層）を行い、1 試料について花粉分析を行った。

2. コアの層相記載

得られたコアはきわめて良好で、コアパックの上から地質構造の概要を把握することができた。このため、層理面とみられる面構造の最大傾斜方向に沿って半割・整形した上で、観察・試料採取を行った（第 2 図および第 3 図）。

コアは、上位よりユニット 0（盛土）、ユニット 1（低位段丘堆積物）、ユニット 2（中位段丘堆積物）、ユニット 3（東海層群・大泉層）に大分できる。

以下、盛土を除くユニット 1～3 について層相を記載する。

ユニット 1（低位段丘堆積物：深度 3.60 m ～ 1.05 m）

ユニット 1 は、比較的風化程度の弱い礫を含み、礫・砂・シルトの互層からなる未固結堆積物である。最上部 55 cm（ユニット 1a）は畑作などの強い人為作用を受けた

*Corresponding author: Komatsubara, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: komatsubara-t@aist.go.jp
1 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)
2 株式会社阪神コンサルタンツ (Hanshin Consultants Co., Ltd.)
3 有限会社アルプス調査所 (Alps Technical Research Laboratory Co., Ltd.)



第1図 ボーリング地点とその周辺 基図は国土地理院の「地理院地図」。

Fig. 1 Location of drilling site and its surroundings. Base map is “GSI Maps” in homepage of Geospatial Information Authority of Japan.

部分である。その下（ユニット 1b）は上方細粒化する砂礫～砂を主体とする。

ユニット 1a(低位段丘堆積物上部:深度 1.60 m～1.05 m)

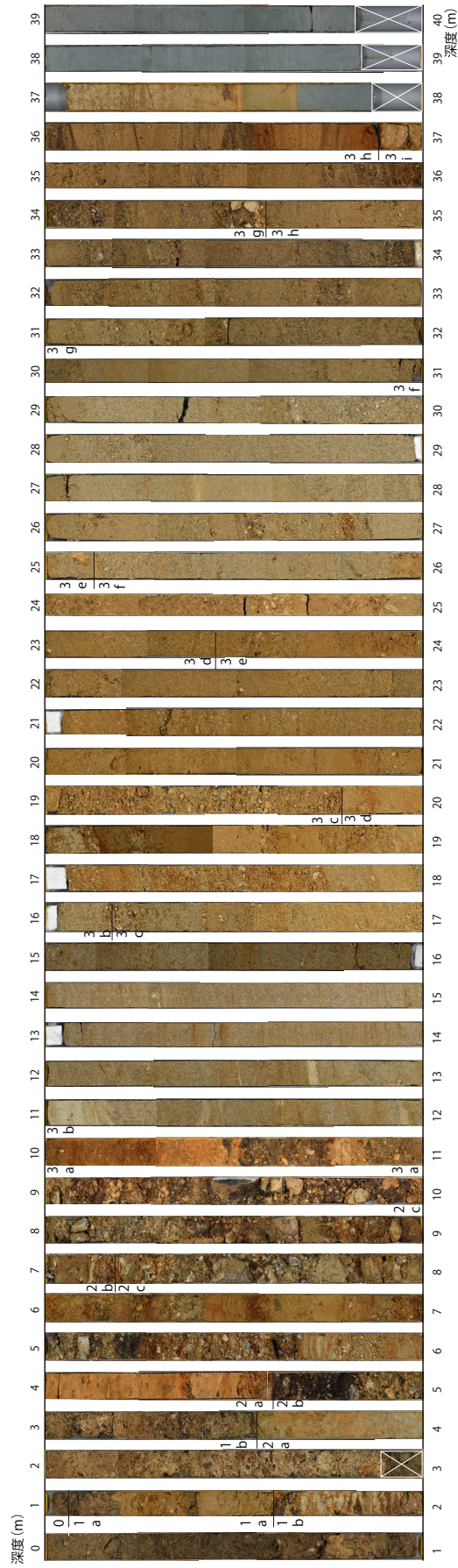
全体に径 20 mm 以下の花崗岩，チャートの礫および細粒～粗粒砂を含み，非常に淘汰が悪い，砂混じりシルトである。植物片を少量含む。基質は黄褐色～明黄褐色を呈する。人為的にかく乱を受けている。

ユニット 1b(低位段丘堆積物下部:深度 3.60 m～1.60 m)

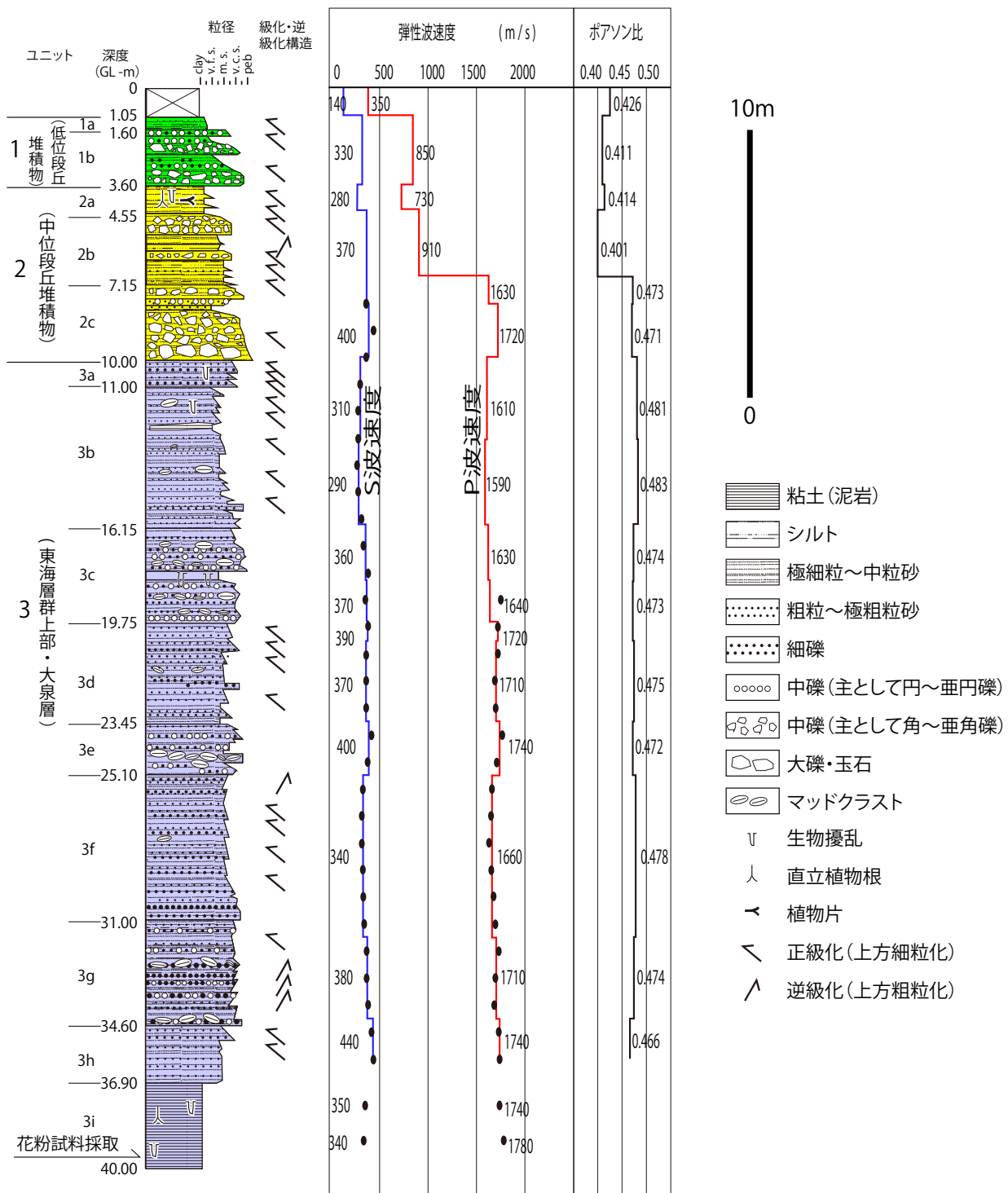
上方細粒化する3つのレイヤーからなる砂礫～砂である。砂礫中の礫は，最大で径 60 mm であるが径 4 mm～20 mm の垂角礫が多い。礫種は，粘板岩，砂岩

を主として，チャートと少量の花崗岩を伴う。特に径 10 mm 以上のものでは粘板岩・砂岩の礫が多く，細礫にはチャートや花崗岩の礫が多い。粘板岩や花崗岩の礫の表面には厚さ 1 mm 程度の風化（酸化）被膜が認められ，花崗岩礫の中には割れて細礫径の岩片となっているものが少なくない。砂礫層の基質は，花崗岩質で，シルト分を含む，淘汰の良くない中～粗粒砂からなり，10YR6/6～6/8（明黄褐色）の色調を呈する。

砂層は，細礫・シルト混じりで淘汰不良の細～粗粒砂を主体とし，斜交層理がみとめられる。特に 1b 最上部(深度 1.95 m～1.60 m)は明瞭な斜交層理が発達する。砂層の主体は黄褐色（10YR7/8）を，最上部にはぶい赤褐色（5YR5/4）～灰黄色（2.5Y6/2）を呈する。



第2図 YTRS コアの写真.
Fig. 2 Photograph of YTRS core.



第3図 YTRS コアの地質柱状図.
Fig. 3 Geological columnar of YTRS core.

下位のユニット2 (2a) との境界は明瞭である。
ユニット2 (中位段丘堆積物: 深度 10.00 m ~ 3.60 m)
上位のユニット1と比較して礫の風化程度が高く、
基質が褐色を帯びているという特徴から深度 3.60 mの
明瞭な層相境界を境に区分できる。本ユニットは、上

部のシルト主体のレイヤー (2a: 深度 4.55 m ~ 3.60 m),
中部の砂~砂礫互層 (2b: 深度 7.15 m ~ 4.55 m), 下部
の玉石混じり砂礫 (深度 10.00 m ~ 7.15 m) に細分でき
る。下位のユニット3との境界は、コアの切れ目に当
たるため確かではないが、堆積物の層相 (淘汰度など)
や粒径からみて急変すると考えられる。

ユニット 2a (中位段丘堆積物上部: 深度 4.55 m ~ 3.60 m)

上半部(深度 4.00 m ~ 3.60 m)が浅黄色(2.5Y7/3)の擾乱を受けた砂混じりシルト, 下部(深度 4.55 m ~ 4.00 m)が黄橙色(10YR7/8)の不明瞭に成層した砂混じりシルトを主体とするが, 両者は漸移的で一連のレイヤーとみなしうる。上部では粘板岩の細礫や粗粒砂が混じり, 淘汰は良くない。下部は上部と比較して淘汰の良いシルトを主体とするが, レンズ状の, 上方細粒化する, 極細粒~細粒砂の薄層が多く挟在し, 直立植物根跡や巣穴状の生物擾乱がみとめられるほか, 水平な状態の植物片が少量含まれる。

ユニット 2b (中位段丘堆積物中部: 深度 7.15 m ~ 4.55 m)

数レイヤーの上方細粒化(一部で上方粗粒化)する砂礫~砂からなる。

砂礫層は, 礫の比率が高く基質の少ない, 径 4 mm ~ 30 mm 程度を主として玉石を含む, 亜円~亜角礫を主体とし, 上方細粒化するレイヤーが多いが, 深度 6.00 m ~ 5.75 m の砂~細礫層主体の砂礫層は上方粗粒化する。砂礫層中の礫は, 粘板岩, 砂岩が多く, 花崗岩が含まれる。礫は全体に風化が進んでおり, 砂岩礫は厚さ 1 mm ~ 数 mm 程度の風化被膜をもち, 表面に凹凸が目立つ。花崗岩礫の一部は指で表面を削ることができる程度に強風化している。基質は花崗岩質のシルト・細礫混じり細~粗粒砂からなり, 淘汰は良くない。基質は暗褐色~黄褐色を呈する部分が多いが, 一部でマンガンが濃集し黒褐色を呈する。

砂層は, 成層したシルト質砂~粗粒砂からなるものが多い。ユニット 1 の砂層と比較して淘汰が良いレイヤーが多い。深度 5.75 m ~ 5.65 m の砂層は, 明瞭な上方粗粒化する薄い砂質シルト~粗粒砂層の単層が重なったものである。深度 6.50 m ~ 6.40 m の砂層は, 上方細粒化する粗粒砂~シルト質砂からなる。深度 6.80 m ~ 6.60 m の砂層は細礫を含み, 上方細粒化する中粒~細粒砂層である。色調は, 多くの部分で明黄褐色~明褐色(2.5Y6/6 ~ 7.5YR5/8)を呈するが, 一部で明赤褐色(5YR5/8)を呈する。

ユニット 2c (中位段丘堆積物下部: 深度 10.00 m ~ 7.15 m)

成層した, 亜円礫主体で亜角礫を含む, 玉石混じり砂礫層である。厚さ 10 cm 程度のシルト混じり中~粗粒砂層を挟有する。礫種は 2b と同様に粘板岩, 砂岩が多く, 花崗岩, チャートを含む。砂岩, 粘板岩の礫には数 mm の酸化被膜が認められるものが多く, 花崗岩礫は指で表面を削ることができる程度に風化している。

基質は, シルトを含む不淘汰な, 花崗岩質の, 中粒~極粗粒砂からなり, にぶい黄色(2.5Y6/4)を呈する。

ユニット 3 (東海層群上部・大泉層: 深度 40.00 m ~ 10.00 m)

ユニット 2 以上の地層と比較して明らかに淘汰が良く, 泥質部の固結度が高いことから上位層とは明確に区分できる。淘汰の良い細粒~中粒砂層を主体とするが, 砂礫層や泥岩層を含む。層相に基づいて 3a ~ 3i の 9 ユニットに細分できる。

ユニット 3a (大泉層 a: 深度 11.00 m ~ 10.00 m)

3 ないし 4 レイヤーの, 上方細粒化する, 細礫層~砂層からなる。各細礫層は上方細粒化する構造を持ち, 最大径 20 mm の円礫を少量含み, 中~粗粒砂の基質からなる。細礫層レイヤーの基底には削り込みがみとめられる。細礫は, 強く風化し, 一部がクサリ礫状の, 砂岩, 泥岩, ホルンフェルス, 花崗岩などの礫からなる。

細礫層上に, 細礫層から漸移する, 極粗粒~極細粒砂層が累重する。この砂層は明瞭に成層し, 上方細粒化する。砂層中には直立したパイプ状の生痕がみとめられる。

細礫層~砂層の色調は, 多くの部分で黄褐色~橙色(10YR5/8 ~ 7.5YR5/8)を呈するが, 一部は酸化マンガンが濃集して黒褐色を呈する。

ユニット 3a と下位のユニット 3b の境界はコアの切れ目に当たるため, 両者の関係はわからない。

ユニット 3b (大泉層 b: 深度 16.15 m ~ 11.00 m)

淘汰の良い, 厚さ 10 cm ~ 数 10 cm の上方細粒化レイヤーごとに成層した, アルコース質細粒~粗粒砂からなり, ところどころで厚さ数 cm 以下のシルト質砂層を挟有する。

砂層中には泥質分はほとんど含まないが, レンズ状に長径 10 mm 以下のマッドクラストや細礫を含む。一部に生物擾乱がみとめられる。

色調は灰白色~淡黄色(2.5Y8/2 ~ 8/3)を呈する。

下位のユニット 3c とは漸移する。

ユニット 3c (大泉層 c: 深度 19.75 m ~ 16.15 m)

淘汰の良い砂層を主とするが, 細礫やマッドクラストを多く含む礫混じり土層, 砂質シルト層を挟有する。

砂層は上方細粒化する, 厚さ 1 cm ~ 10 cm 程度の単層からなる, 成層したアルコース質細粒~粗粒砂層からなる。砂層中には泥質分はほとんど含まれず, 淘汰は良好である。

礫まじり土層は, 単層の厚さ数 cm ~ 数 10 cm のレイヤーをなし, 最大で径 20 mm の細礫を主体とする, 亜

円～円礫を多く含み、シルト分を含むが比較的淘汰の良い細粒砂を基質とする。礫混じり土層中の礫は、花崗岩礫が多く、砂岩、粘板岩、チャートなどの礫を含む。

深度 18.20 m～18.00 m 付近には厚さ 1 cm～5 cm 程度の砂まじり砂質シルト層が挟在する。この砂質シルト層は、生物擾乱を受けている。

砂層部の色調は、黄橙色～明黄褐色 (10YR7/8～7/6) を呈する。

下位のユニット 3d と漸移する。

ユニット 3d (大泉層 d : 深度 23.45 m～19.75 m)

淘汰の良い、アルコース質中粒～粗粒砂からなり、少量のマッドクラストや細礫を層状に含む。泥質分はほとんど含まない。厚さ 10 cm～数 10 cm の上方細粒化レイヤーごとに成層する。

下位のユニット 3e と漸移する。

ユニット 3e (大泉層 e : 深度 25.10 m～23.45 m)

淘汰の良い砂層を主とするが、マッドクラストや礫を多く含む礫混じり土層を挟有する。

砂層は、上方細粒化するアルコース質～ワッケ質の細粒～極粗粒砂の成層したものからなる。上下位の砂層と比較してやや淘汰が悪くシルト分を含む。砂層中にもまばらに長径 10 mm 以下のマッドクラストが含まれる。

礫混じり土層は、長径 20 mm 以下のマッドクラストや径 8 mm 以下の円～亜円礫を多く含み、シルト混じり細粒～粗粒砂を基質とする。場所によってはマッドクラストが密集する。礫種はホルンフェルス、花崗岩のものが多い。基質はシルトを含む細粒～粗粒の砂からなるが、マッドクラストを密に含む部分では基質の淘汰は悪く、シルト分を多く含む。

砂層の色調は、黄色～明黄褐色 (2.5Y7/8～10YR6/6) を呈する。

下位のユニット 3f と漸移する。

ユニット 3f (大泉層 f : 深度 31.00 m～25.10 m)

淘汰の良い、成層したアルコース質中粒～粗粒砂層からなる。薄い極細粒砂層や細礫多含層を挟むほか、下部 (深度 31.00 m～29.45 m) では細礫がかなり多く含まれる。シルト分はほとんど含まない。

色調はにぶい黄色 (2.5Y6/3～6/4) を呈する。

下位のユニット 3g と漸移する。

ユニット 3g (大泉層 g : 深度 34.60 m～31.00 m)

粗粒～極粗粒砂層と、マッドクラストや細礫を含む礫混じり土層が 10 cm～数 10 cm 間隔の互層をなす。

砂層は不明瞭に成層した、淘汰の良い、アルコース

質粗粒～極粗粒砂を主とするが、層状にマッドクラストや細礫が含まれる。層準によっては多量の雲母が含まれる。基質中に若干のシルト分が含まれる層準がある。少数ながら上方粗粒化するレイヤーが含まれる。

礫混じり土層は、径 40 mm 以下のマッドクラストと細礫を含み、シルト混じり細粒～極粗粒砂を基質とする。礫混じり土層の各レイヤー基底は下位のレイヤーを削り込んでいる。最下部の深度 34.60 m～34.45 m の層準では大径のマッドクラストが密集し、基質はシルトを含み淘汰が悪い。

砂層の色調は、オリーブ褐色～黄褐色 (2.5Y4/4～5/6) を呈する。

下位のユニット 3h を削り込む。

ユニット 3h (大泉層 h : 深度 36.90 m～34.60 m)

葉理の発達した成層状アルコース質中粒～極粗粒砂層からなる。

全体にシルト分をほとんど含まず淘汰が良い。層状に細礫を含む。

色調は黄褐色～明褐色 (2.5Y5/6～5YR5/6) を呈する。

下位のユニット 3i とは層相 (粒径) が急変する。

ユニット 3i (大泉層 i : 深度 40.00 m～36.90 m)

葉理の発達した均質細粒な粘土質泥岩からなる。棒状のコアが採取できるが、ナイフで削ることができる程度の固結度である。全体に少量の生物擾乱がみとめられるほか、部分的に直立植物根跡がみとめられる。

上部の深度 37.60 m 以浅は灰黄色～黄色 (2.5Y7/2～8/6) を呈するが、主体は灰色 (10Y5/1～N4/) を呈する。

3. 花粉分析

ユニット 3i (東海層群・大泉層) の深度 39.66 m から採取した泥岩試料について花粉分析を行った。その結果を第 1 表に示す。

木本植物のうち現在の日本列島に自生する分類群では、温帯の常緑針葉樹である *Pinus* (マツ属) 花粉が多量に得られた他、常緑針葉樹の *Tsuga* (ツガ属)、*Sciadopitys* (コウヤマキ属) の花粉が *Pinus* に次いで多く産出した。また、温帯の落葉広葉樹の *Quercus* (Subgen. *Lepidobalanus*; コナラ属コナラ亜属) と、冷温帯落葉広葉樹の *Fagus* (ブナ属) がそれぞれ 10% 程度出現したほか、低率ながら暖温帯常緑広葉樹の *Quercus* (Subgen. *Cyclobalanopsis*; コナラ属アカガシ亜属)、*Castanopsis / Pasania* (シイノキ属 / マテバシイ属)、*Mallotus* (アカメガシワ属)、*Sapium* (シラキ属)、*Camellia* (ツバキ属) が含まれていた。スギ属花粉はほとんど産出しなかった。

垂坂断層近傍のボーリングと地質構造

第1表 深度 39.66 m (東海層群・大泉層 ユニット3i) の花粉分析結果.

Table 1 Pollen analysis of 39.66 m depth in the YTRS core.

	学名	和名	数
(針木葉本樹植物類)	<i>Abies</i>	モミ属	4
	<i>Picea</i>	トウヒ属	5
	<i>Tsuga</i>	ツガ属	28
	<i>Pinus</i>	マツ属	38
	<i>P.</i> (Subgen. <i>Haploxyton</i>)	マツ属ゴヨウマツ類	1
	<i>P.</i> (Subgen. <i>Diploxyton</i>)	マツ属ニヨウマツ類	11
	<i>Sciadopitys</i>	コウヤマキ属	22
	Taxodiaceae	スギ科	1
(広木葉本樹植物類)	<i>Juglans / Pterocarya</i>	クルミ属 / サワグルミ属	6
	<i>Carpinus / Ostrya</i>	クマシデ属 / アサダ属	8
	<i>Corylus</i>	ハシバミ属	1
	<i>Alnus</i> (Subgen. <i>Alnus</i>)	ハンノキ属ハンノキ亜属	4
	<i>Fagus crenata</i> type	ブナ属 (ブナ型)	13
	<i>F. japonica</i> type	ブナ属 (イヌブナ型)	6
	<i>F.</i> other type	ブナ属 (その他型)	1
	<i>Quercus</i> (Subgen. <i>Lepidobalanopsis</i>)	コナラ属コナラ亜属	24
	<i>Q.</i> (Subgen. <i>Cyclobalanopsis</i>)	コナラ属アカガシ亜属	4
	<i>Castanopsis / Pasania</i>	ニイノキ属 / マテバシイ属	1
	<i>Ulmus / Zelkova</i>	ニレ属 / ケヤキ属	7
	<i>Hemiptelea</i>	ハリゲヤキ属	1
	<i>Celtis / Aphananthe</i>	エノキ属 / ムクノキ属	1
	<i>Corylopsis</i>	トサミズキ属	2
	<i>Liquidambar</i>	フウ属	5
	<i>Mallotus</i>	アカメガシワ属	3
	<i>Sapium</i>	シラキ属	1
	<i>Parhenocissus</i>	ツタ属	1
	<i>Camellia</i>	ツバキ属	1
	<i>Elaeagnus</i>	グミ属	2
<i>Nyssa</i>	ヌママミズキ属	1	
Ericaceae	ツツジ属	1	
Oleaceae	モクセイ属	2	
草本植物	<i>Polygonum</i> (Sect. <i>Persicaria / Echinocaulon</i>)	タデ属サナエタデ節 / ウナギツカミ節	47
	Geranium	フウロソウ属	1
	Carduoideae	キク科キク亜科	6
	<i>Artemisia</i>	ヨモギ属	1
	Cichorioideae	キク科タンポポ亜科	5
	Gramineae	イネ科	31
	Cyperaceae	カヤツリグサ科	17
シダ植物	<i>Lycopodium</i> (Subgen. <i>Lycopodium</i>)	ヒゲノカズラ属ヒゲノカズラ亜科	11
	<i>Osmunda</i>	ゼンマイ属	1
	<i>Davallia</i>	シノブ属	286
	Polypodiaceae	ウラボシ科	74
	monolete type spores	単条口型孢子	728
	trilete type spores	三条口型孢子	50
	unknown pollen and spores		33
	総計		1497

第2表 弾性波速度の測定.
Table 2 Measurement of elastic wave velocity.

手法	対象		測定数
ダウンホール式PS検層	P波	1 m~18 m	18点
	S波	1 m~8 m	8点
サスペンション式PS検層	P波	19 m~36 m	18点
	S波	8 m~36 m	29点
パルス透過法 (超音波速度測定) (参考値)	37.80 m~38.00 m		2点
	38.80 m~39.00 m		

木本植物のうち現在の日本列島には自生しない分類群のものなかで、*Hemiptelea* (ハリゲヤキ属)、*Liquidambar* (フウ属) と、保存状態の良い *Nyssa* (ヌマミズキ属) が得られたが、*Carya* (ペカン属) は産出しなかった。

草本植物では *Polygonum* (Sect. *Persicaria* / *Echinocaulon*; タデ属サナエタデ節 / ウナギツカミ節) および *Gramineae* (イネ科) が多く産出した。

シダ植物の胞子は非常に多く産出したが、中でも単条口型胞子が多く産出した。

4. 弾性波速度測定 (PS 検層)

地表近くの堆積物の弾性波速度を明らかにする目的で、孔内水位より浅部についてはダウンホール式で、孔内水位から深度36 mについてはサスペンション式で、さらに孔底部の深度38 m~39 mは1 m間隔で採取した長さ20 cmのコア試料についてパルス透過法による超音波速度測定で、P波およびS波の速度測定を行った(第2表)。結果は第3図柱状図右に示す。

P波・S波速度はそれぞれ、低位段丘堆積物と中位段丘堆積物中部(ユニット2b)で浅く730 m/s~900 m/s、280 m/s~370 m/s、中位段丘堆積物下部(ユニット2c)から東海層群・大泉層で1,630 m/s~1,740 m/s、290 m/s~440 m/sである。

5. 考察

5.1 堆積物の堆積環境・層位・堆積年代に関する考察

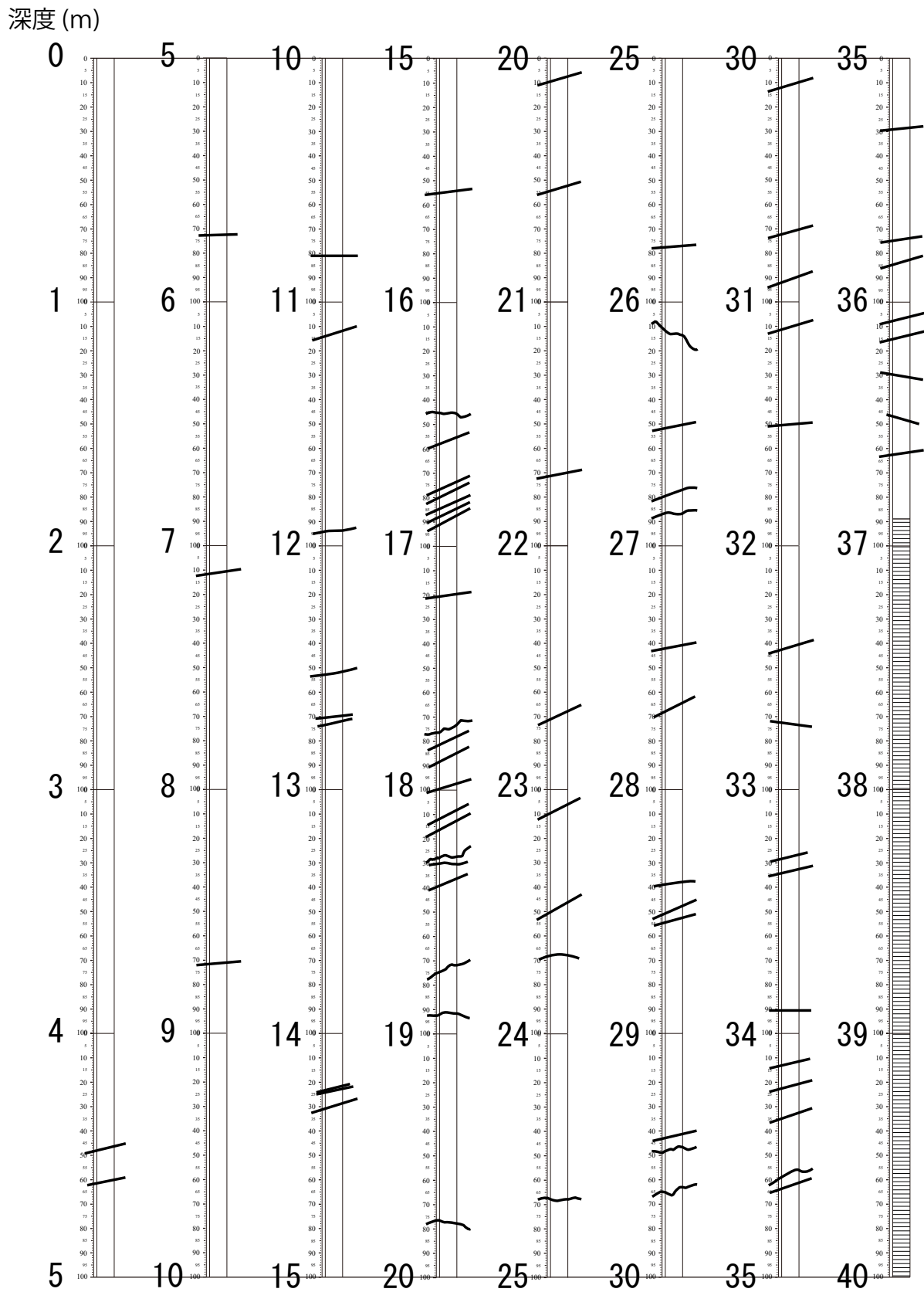
低位段丘堆積物(ユニット1)と中位段丘堆積物(ユニット2)は、いずれも淘汰が悪く、砂岩・粘板岩・ホルンフェルスなど鈴鹿山脈に分布する先新第三系起源の礫を多く含むことなど、現海蔵川河床の堆積物と似た層相を示すことから、海蔵川の河成堆積物と考えられる。それぞれは、礫の風化程度と土色から低位段丘

堆積物がおそらく最終氷期ごろ、中位段丘堆積物はおそらく最終間氷期ごろの堆積物と考えられる。ユニット2が厚さ5 m以上の複数レイヤーの堆積物からなることは、周辺地域の露頭で認められる河成中位段丘堆積物の特徴や、既往土質調査ボーリング資料とも矛盾しない。

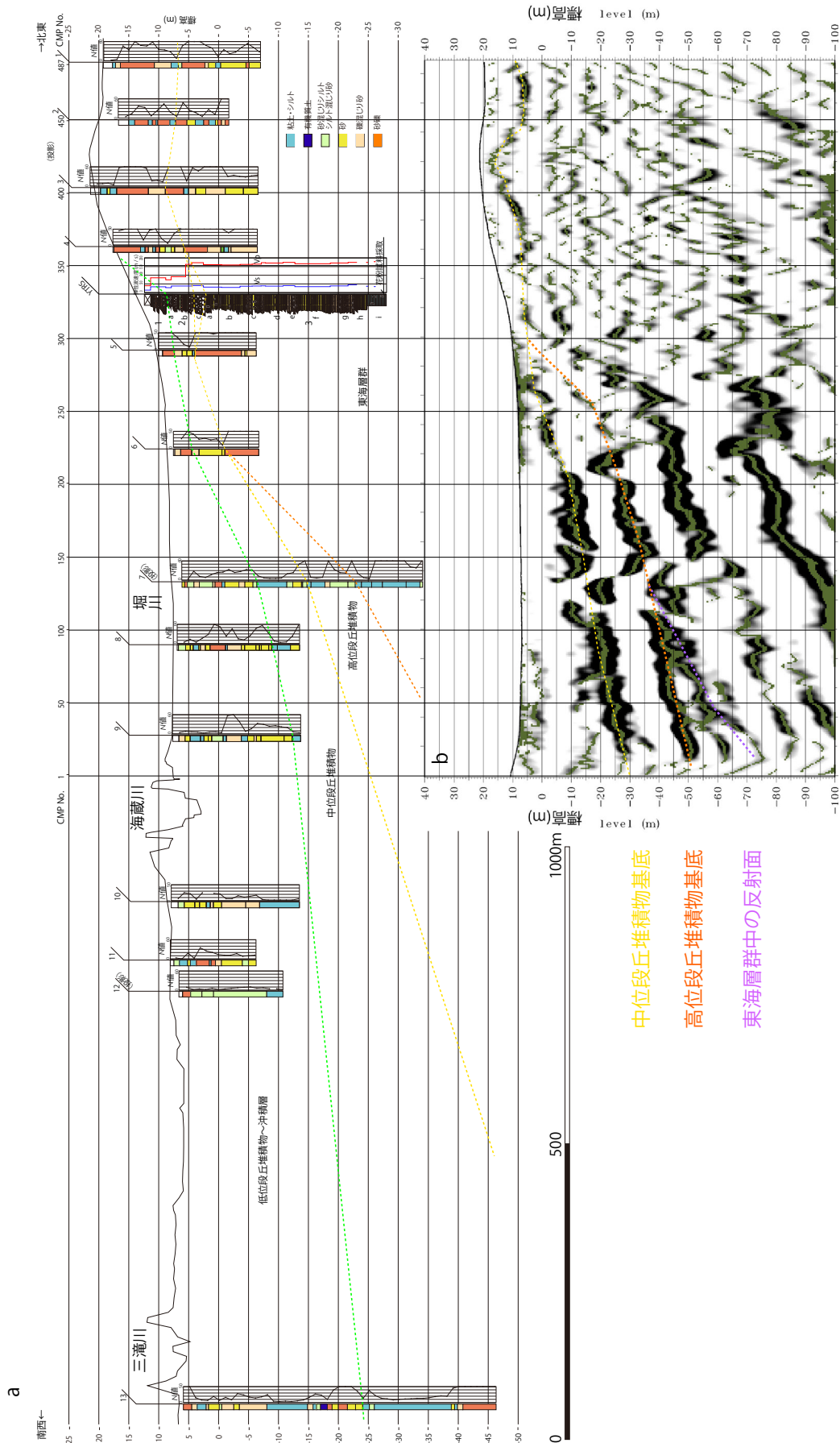
周辺地域(四日市市垂坂山周辺)に露出する地層(吉田, 1984)の層相の類似性から大泉層と判断したユニット3については、各サブユニットが数 mの厚さをもち、層相が安定していることから、広い低地や停滞水域を埋積した堆積物である可能性が高い。特にユニット3iは少量の生物擾乱を受けた葉理の発達する粘土からなり、わずかながら直立植物根跡を有することは、このサブユニットが浅い停滞水域で堆積したことを積極的に支持する。

ユニット3iの花粉分析結果から、堆積年代について次のような考察ができる。

得られた花粉組成は、現在の日本列島には産出しない複数の分類群の花粉を含むこと、特に保存状況の良い *Nyssa* が得られたことから、二次堆積による誘導化石とは考えにくい。さらに、*Liquidambar* および *Nyssa* が共に産出し、*Carya* が産出しないこと、*Persicaria* が非常に多く産出するという特徴は、島倉(1964)の花粉層序に基づいて層序を再検討した吉田(1990)によると、東海層群上部の、原田川テフラ~岩森テフラ間の層準より上位、かつ寺川テフラより下位の層準の花粉組成と一致する。このうち、岩森テフラは、古琵琶湖層群・阿山層の馬杉テフラに対比され(吉川・吉田, 1989)、原田川テフラとともに古地磁気層序の Gauss 正磁極期に位置づけられる(中山・吉川, 1990)。寺川テフラは、古地磁気層序の Gauss-Matuyama 境界 (2.58 Ma) 直下に位置する(星ほか, 2013)。以上から、今回得られた花粉組成に基づくユニット3iの年代は、鮮新世末期・ピアセンジアン階を示す可能性がある。本調査地点の約6 km北方の、大泉層下位の暮明層露出地



第4図 YTRS コアの層理面の傾斜.
Fig. 4 Dips of bedding plain in YTRS core.



第 5 図 反射法地震探査と周辺地域の既往ボーリングデータおよび YTRS コアより作成した地質断面図。
 Fig. 5 Geological cross section made up from seismic reflection survey, compilation of previous drilling data and observation of YTRS core.

で掘削した温泉ボーリングでも同様に *Liquidamber* と *Nyssa* を産し、*Carya* を産出しない層準が認められている（名坂，1984）が、層位に関する情報は十分でない。

一方、調査地近傍の朝日町埋縄地区の大泉層には、下部に約 2.1 Ma とされる（Tamura, *et al.*, 2008）坂東 II テフラが下部に、古地磁気年代のオールドバイサブクロン（≒約 1.78 Ma）直上のテフラとされる嘉例川テフラ（≒恵比寿峠 - 福田テフラ）が上部に挟在する（吉田ほか，1991）。これは、更新世前期のジェラシアン階に相当する年代である。

以上から、YTRS 孔の「大泉層」は鮮新世末期～更新世前期の堆積物と考えられるものの、その年代についてはさらに検討の余地があると言える。

5.2 コアにみられる層理面の傾斜と周辺地域の地質構造に関する検討

本ボーリングコアのユニット 3（東海層群・大泉層）では、多くの層理面に傾斜がみとめられる。この構造について、コアの解釈と広域的な地質構造の解釈の 2 つの点について検討する。

5.2.1 層理面の傾斜に関する検討

第 4 図に半割コアの写真からよみとった層理面の傾斜を示す。この図は、深度 11 m 以深についてはコア半割時に層理面の最大傾斜方向に沿ってコアを分割し、かつ層理面が右から左に傾斜する方向に写真の向きを調整した上で、層理面をトレースしたものである。

図に示すように、層理面の傾斜は $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ とばらつくものの、全体として 10° 前後の傾斜を示すものが多い。層理面の多くは砂層や砂礫層のものであり初生的な斜交層理も含まれていると考えられるが、1 m 単位のコアの中では逆向きの傾斜を示すものが少なく、かつ一定の傾斜に揃う傾向があることから、地質構造を反映している可能性が高い。

5.2.2 周辺地域の地質構造および構造発達史に関する検討

第 5 図 a に今回の調査ボーリングと既存土質調査ボーリングデータを並べて作成した地質断面を、第 5 図 b に標高 100 m 以浅の反射法地震探査結果（深度断面図）を示す。第 5 図 a には最大約 500 m 程度反射法地震探査測線から離れた場所のボーリングデータも記している。

YTRS 孔は地質層序の観点から地層を区分したが、そのほかの既往土質調査ボーリングでは土質区分（主として粒径・物性）に基づいて地層を区分しているため、地層区分の基準が異なる。特に YTRS 孔で中位段丘下部（ユニット 2c）に分類した砂礫層は速度検層結果に示されたように弾性波速度が高く締まりが良かったため、既往調査ボーリングでは、下位の東海層群の砂層・砂

礫層と一括されている可能性が高い。この点を考慮して第 5 図 a では土質区分による境界と層序に基づく境界を共に示した。

図に示されるように海蔵川北東岸（=CMP No.1）で標高 -30 m 付近に認められる顕著な反射面は、高位段丘堆積物と中位段丘堆積物の境界面に相当する可能性が高い。この反射面と、その下位の同地点で標高 -50 m 付近の反射面は、明瞭な反射面が捉えられている CMP No. 1 ~ 250 の区間で、ともに南西に約 50% （≒ $2.5^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ）程度西傾斜するが、それよりも下位の反射面は同じ区間で $80\% \sim 120\%$ （ $4.5^{\circ} \sim 7^{\circ}$ ）の勾配を示し、標高 -50 m の反射面は下位の反射面に対して傾斜不整合の関係にある。この傾斜不整合を示す反射面は、① YTRS 孔（CMP No.330 付近）より南西側で中位段丘堆積物基底の反射面に削られること、および②既往 -7 のボーリング（CMP No. 100 ~ 150 付近に投影される）では、中位段丘堆積物と考えられる、標準貫入試験による N 値 5 ~ 10 の貝殻を含む粘土層の下位に、 N 値 10 前後を示す厚さ 3 m 余りの粘土層が存在することから、この N 値 10 前後の地層を含む高位段丘堆積物の基底面に対比されると考えられる。

一方、小松原ほか（2020）に記しているように、反射法地震探査断面では、東海層群中に顕著な傾斜の違いは認められない。また、高位段丘堆積物基底に対比される反射面の勾配と、東海層群中の反射面の勾配とは、大きく異ならない。このことから、この南西傾斜の構造は YTRS 孔における大泉層の堆積（鮮新世末期～前期更新世前期）以降に活動を開始したこと、さらにこの構造は第四紀後期（高位段丘堆積物の堆積期以降）に大きく成長したことが明らかになった。

謝辞：四日市市危機管理室の田中宏和氏・同中山宗行氏、四日市市海蔵地区市民センターの田中良和氏・上杉達也氏には多方面にわたるご支援をいただいた。四日市市市街地整備・公園課の藤田貴氏・岩谷理氏、海蔵地区連合自治会の水谷重信氏、西安倉川町内会の羽場誓司氏にはボーリング作業においてご支援をいただいた。三重県建設技術センターと四日市市営繕工務課からはボーリング資料の利用許可をいただいた。コア観察作業にあたっては、産業技術総合研究所地質情報研究部門の國本節子氏、筑波大学学生の内諷訪有彩氏および元東京大学大学院新領域創成科学研究科大学院生の寺田龍矢氏にご協力いただいた。以上の皆様に深く感謝申し上げます。

文 献

星 博幸・服部憲児・田中里志・宇佐美徹・中川良平・

- 津村善博・小竹一之・森 勇一 (2013) 三重県亀山地域に分布する東海層群のガウス-松山古地磁気極性境界. 地質学雑誌, **119**, 679-692.
- 小松原 琢・秋永康彦・澤田基貴・末廣匡基・奥田博之 (2020) 三重県四日市市垂坂断層の反射法地震探査速報, 令和元年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 地質調査総合センター速報, no.81, 85-95.
- 中山勝博・吉川周作 (1990) 東海層群の古地磁気層序. 地質学雑誌, **96**, 967-976.
- 名坂 秀 (1984) 微化石からみた奄芸層群下部層の再検討-四日市市内深度-1,200 m のボーリング試料から-. 名古屋地学, no. 45-46, 12-20.
- 島倉巳三郎 (1964) 本邦新生代層の花粉層序学的研究 VIII, 奄芸・曾爾・都介野の各層群. 奈良学芸大学紀要, **12**, 25-39.
- Tamura, I. Yamazaki, H. and Mizuno, K. (2008) Characteristics for the recognition of Pliocene and early Pleistocene Marker tephros in central Japan. *Quaternary International*, **178**, 85-99.
- 吉田史郎 (1984) 四日市地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 81p.
- 吉田史郎 (1990) 東海層群の層序と東海湖盆の古地理変遷. 地質調査所月報, **41**, 303-340.
- 吉田史郎・栗本史雄・宮村 学 (1991) 桑名地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 154p.
- 吉川周作・吉田史郎 (1989) 三重県亀山地域の東海層群火山灰層. 地質調査所月報, **40**, 285-298.