

九十九里低地（旭市矢指ヶ浦）沿岸陸域における浅部地下構造調査 Shallow seismic reflection survey at the Kujukuri coastal plain (Asahi city, Yasashigaura), Chiba Prefecture, central Japan

山口和雄^{1*}・伊藤 忍¹
Kazuo Yamaguchi^{1*} and Shinobu Ito¹

Abstract: We conducted a shallow seismic reflection survey along NE-SW coastal line at the Kujukuri coastal plain (Asahi city, Yasashigaura), Chiba Prefecture, central Japan. The seismic source is a P-wave Yuatsu impactor, station interval is 2 m, the maximum source – receiver offset is 382 m and the survey line is 7 km long. In vertical stacked and gained shot records, first breaks reach the maximum offset with 1.6 km/s apparent velocity and reflection waves are recognized down to 900 ms in two way time. In preliminary CMP stacked time section by simple data processing, uneven reflectors of alluvial sediments are imaged in the shallowest part at several ten ms, and dipping reflectors of Kazusa group and pre-Tertiary basement top are perceived below them. Reflectors deeper than 700 m are recognized by simple survey system of single receivers.

Keywords: seismic reflection survey, subsurface structure, seismic section, alluvial sediment, Kazusa group, pre-Tertiary basement, Kujukuri coastal plain

要 旨

千葉県旭市矢指ヶ浦周辺の沿岸陸域で反射法地震探査による浅部地下構造調査を実施した。主な仕様は震源:P波油圧インパクト, 測点間隔:2 m, 最大オフセット:382 m, 測線長7 km等である。垂直重合と振幅調整後の発震記録で, 見掛け速度約1.6 km/sの初動が最大オフセットまで達し, 反射波らしき波群は往復走時900 ms程度まで認められる。簡易データ処理で作成した予備的なCMP重合断面で, 数10 msの極浅部に沖積層のほぼ水平で凹凸のある反射面, それ以深に傾斜する上総層群と先新第三系の上限が捉えられた。シングル受振器を用いた簡便な探査システムで深度700 m以深の反射面を捉えることができた。

1. はじめに

「沿岸域の地質・活断層調査」のプロジェクトは関東地方南部の沿岸陸域と沿岸海域を調査対象として3年計画で進められている。陸域の地震探査では千葉県九十九里低地の沿岸陸域及び神奈川県足柄平野・相模平野を調査対象とした。新規に地下構造調査を実施するとともに, 既存の地下構造データを収集し必要に応じて再解析を行う。九十九里低地での地下構造調査の目的は沖積層基底の形状の把握及び深度300 m程度までの地下構造の解明である。具体的には沖積層基底付

近に推定される埋没谷の検出を目指した。本プロジェクトでは九十九里低地で3回の地下構造調査を行う。調査地は, 1回目が九十九里町(山口・伊藤, 2015), 2回目が旭市, 3回目が横芝光町である。本稿では2回目の旭市での調査について概要を報告する。

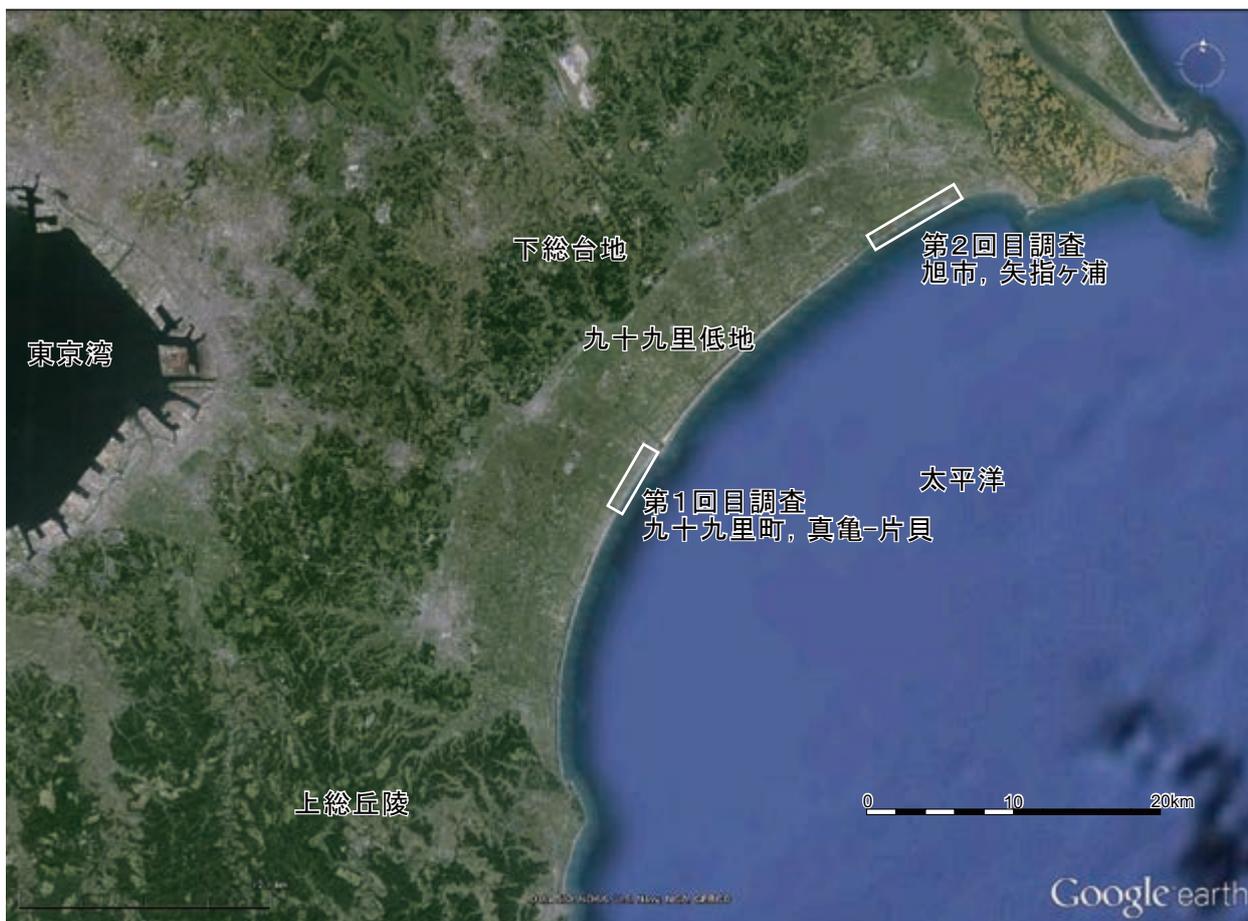
2. 地形・地質概要

九十九里低地は, 海岸線の延長が約60 km, 幅が約10 kmの広大な低地で, 周囲は南部の標高200 m以下の上総丘陵, 西部から北部の40 m~100 mの下総台地に囲まれている。低地には, 約6,000年前以降の気候・海水準変動によって形成された砂堤列群が広く分布し, 砂丘, 堤間湿地堆積物, 自然堤防などが見られる(森脇, 1979, 1986)。南部の丘陵は南東方向に古くなる鮮新・更新統の上総層群, 西部の台地は上総層群最上部とこれを覆う下総層群よりなり, 北部の台地は鮮新・更新統が分布する(森脇, 1976, 1986)。

九十九里低地の沖積層深度は, 低地全体が関東地方土木地質図(関東地方土木地質図編纂委員会, 1996), 南部が七山ほか(2016), 中部と北部が小松原・水野(2016)で図示されている。いずれの図も沖積層基底等深線の間隔が線状に密な箇所が存在するが, 前者と後2者とではそれらの位置が異なる。沖積層以深について, 国末ほか(2002)はガス田の物理検層記録を用いて地表露出の上総層群と坑井地質を比較し, 九十九里

*Correspondence

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)



第1図 調査地域周辺の広域図。

右上側の矩形は第2図の範囲を示す。基図として Google earth を使用した。

Fig.1 Wide area map of the survey area.

The upper right square corresponds to Fig.2. The base map is from Google earth.

低地の地下地質構造を推定した。山武市蓮沼地区で深度 1,661 m の坑井が掘削され、浜堤堆積物、鮮新統～更新統、先新第三系に区分されている（林ほか，2009）。地下構造調査は、探査深度 10 m 程度の地中レーダ調査（Tamura *et al.*, 2008）や深度数 km の基礎物理探査（石油公団，2000）が行われている。

3. 調査概要

九十九里低地で2回目の地下構造調査は低地北部の旭市で実施した（第1図）。調査測線は三川から神宮寺に至る約 7 km の区間とし、途中で小松原・水野（2016）のボーリング地点 GS-QAS-3 の近傍を通る（第2図(a)）。測線は大半が海岸保安林内の未舗装道路で、それ以外は、矢指ヶ浦海水浴場の駐車場（舗装、測点 1,051～1,073）、市道（舗装、1,074～1,315）、工事用の仮設道路（未舗装、1,630～2,480）、自転車道（簡易舗装、2,481～2,529）等である。発震点は道路面、受振点は道路脇路肩の地面を基本とした。今回の調査は海岸堤防の内

側（陸側）を測線としたので機器が波を被ることはなかった。明らかな人工ノイズ源は市道沿いの水産加工所や通行車両、海岸堤防沿いの排水ポンプ等であった。

第1表に調査の測定諸元を示す。探査目標深度を 10 数 m～300 m 程度と想定し、それに見合うように震源は P 波油圧インパクト、測点間隔は 2 m、最大オフセットは 382 m とした。目標深度の浅部側は、調査地付近の沖積層基底が深度 30 m より深く推定されている（小松原・水野，2016）ことに基づく。

測点のマーキングは検尺ロープ沿いに 10 点（20 m）毎及び屈曲部や標高急変箇所に杭を刺した。杭位置を GPS 測量し杭間の測点座標は補間した。発震点・受振点の座標は測点からのオフセットを反映させた。測点標高は 2 m～5.7 m の範囲にあり平均標高は 3.3 m である。震源は衝撃型の油圧インパクトを用いた。受振はチャンネル間隔 2.5 m のケーブルと一体化したシングル受振器（1 受振点に受振器 1 個）を使用した。一体化しているので受振機器の設置・移動は迅速に行われた。探鉱器は有線テレメトリー方式の DSS-12 を使用した。



第2図 測線図. (a) 調査測線 数値は測点番号 (2 m 間隔), (b) CMP 測線 数値はCMP 番号 (1 m 間隔). 基図として国土地理院の地理院地図を使用した. 赤丸は沖積層基底に達した坑井 (小松原・水野 (2016) による).
 Fig.2 Seismic lines. (a) Survey line with station numbers (2 m interval), (b) CMP line with CMP numbers (1 m interval). The base map is from Geospatial Information Authority of Japan. Red circles show boreholes reached to the basal boundary of Postglacial deposits (after Komatsubara and Mizuno (2016)).

第1表 調査諸元と調査機器。
Table1 Survey parameters and instruments.

測線名	矢指ヶ浦
調査測線長	7,006m
総受振点数	3,504点
総発震点数	3,463点
測点番号	1-3,504
発震受振展開	192受振点を固定し1-48で発震し、受振点を48点ずつ移動
調査方向	北東→南西
震源	P波油圧インパクトJMI-200 (地球科学総合研究所製)
発震点間隔	2m
発震パタン	1箇所固定
発震回数	10回(ノイズ卓越箇所は20回)
受振器	GS20-DM(GeoSpace製)
受振点間隔	2m
受振器個数	1個/受振点
固有周波数	28Hz
探鉱器	DSS-12(サンコーコンサルタント製)
チャンネル数	192ch
記録長	2s
サンプリング間隔	0.5ms
CMP重合数	標準96
CMP間隔	1m
CMP番号	1-6,871
CMP数	6,871点
CMP測線長	6,870m
測量装置	GRS-1(トプコン製)
測量方法	仮想点方式 ネットワーク型RTK-GNSS(ジェノバ)
調査年月日	2016年4月5日-4月26日

1 発震点の標準発震回数は10回とし、路面が弱い簡易舗装や測線屈曲部では回数を減らした。データは探鉱機では垂直重合せず個々のショット記録を収録した。発震・受振の展開は、固定した192受振点の1点目から48点目までで発震し、発震が終了した48点をまとめて移動した。現地調査は海岸保安林工事や堤防工事の工期後の2016年4月5日～4月26日に実施した。

4. 取得データとデータ処理

垂直重合と振幅調整を適用した発震記録を第3図に示す。初動は最大オフセットまで届き見掛け速度は約1,600 m/sである。この初動はゼロオフセットで10数msの走時を持ち表層の低速度層の存在が推定される。反射波は浅部から往復走時900 ms程度までの深度範囲で見られる。S/Nは測線の東半分の方が良い。発震点501走時700 ms付近の反射波は強振幅で明瞭である。ノイズは震源起因の見掛け速度300 m/s以下のコヒーレントな波群が目立ち、さらに全体としてランダムノイズがのっている。

簡易的なデータ処理を適用して予備的なCMP重合時

間断面を作成した(第4図)。処理内容は垂直重合、ジオメトリ、デコンボリューション、バンドパスフィルタ、振幅調整、静補正、CMPソート、速度解析、NMO補正、ミュート、CMP重合である。データ処理の基準面は標高0 mを往復走時0 msとした。

CMP重合時間断面図で往復走時20 msから1,000 msの範囲に複数の反射面が捉えられた。主な反射面のおよその往復走時は、最も浅い反射面群Aが20 ms～60 msの範囲に分布し、以下、反射面Bが東端200 ms西端350 ms、反射面Cが東端350 ms西端600 ms、反射面Dが東端450 ms西端700 ms、反射面Eが東端600 ms西端950 msである。A、B、C、D、Eの間にも振幅は弱い反射面が存在する。E以深には反射面は無さそうである。

Aは強振幅で凹凸が激しい。CMP2,700から4,200付近の70 msから80 msの反射面(A')はAと一体か別物か判然としない。

B以深は、上位より下位の反射面が傾斜が大きい。CMP3,600付近より西側で振幅が弱く不明瞭になり、わずかではあるが傾斜が緩くなるように見える。幅200 mから300 m、高さ10 msほどの波状の形態が見られる。

5. 考察

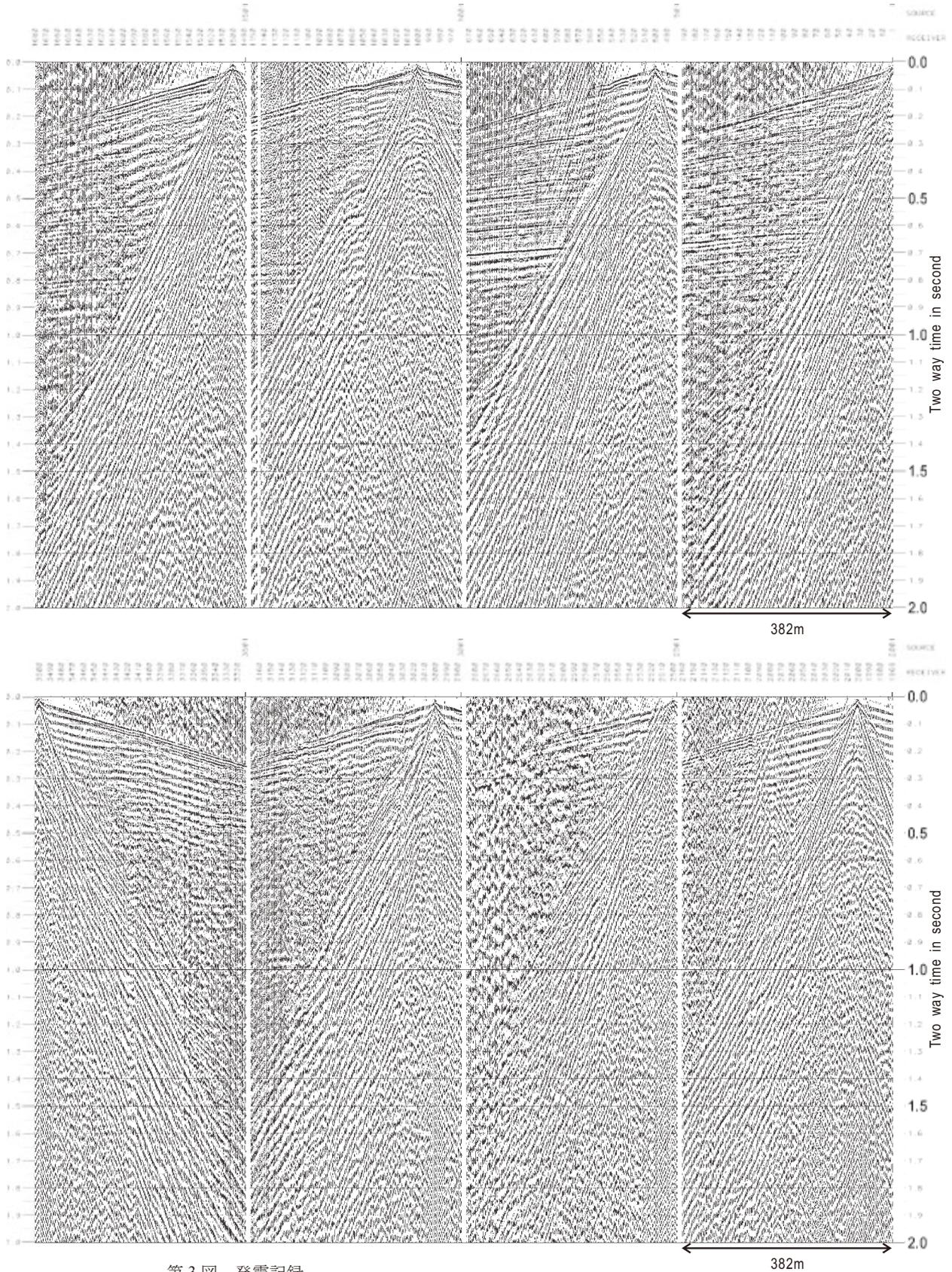
予備的な断面図(第4図)に基づいて暫定的な考察を行う。

GS-QAS-3 ボーリング地点で沖積層基底は標高は-44 mである(小松原・水野, 2016)。この標高は速度を1,600 m/sと仮定すると往復走時55 msに相当する。ボーリング直近(CMP2,502で距離32 m)の断面浅部には20 msから60 msの範囲に反射面が見られ、CMP2,700に向けて10 msほど低下する。これは上記A'へと繋がる可能性もある。現段階の断面図では沖積層基底に対応する反射面の対比は難しく、ストレッチミュートやノイズ除去等の最適化により反射面の明瞭化が必要である。

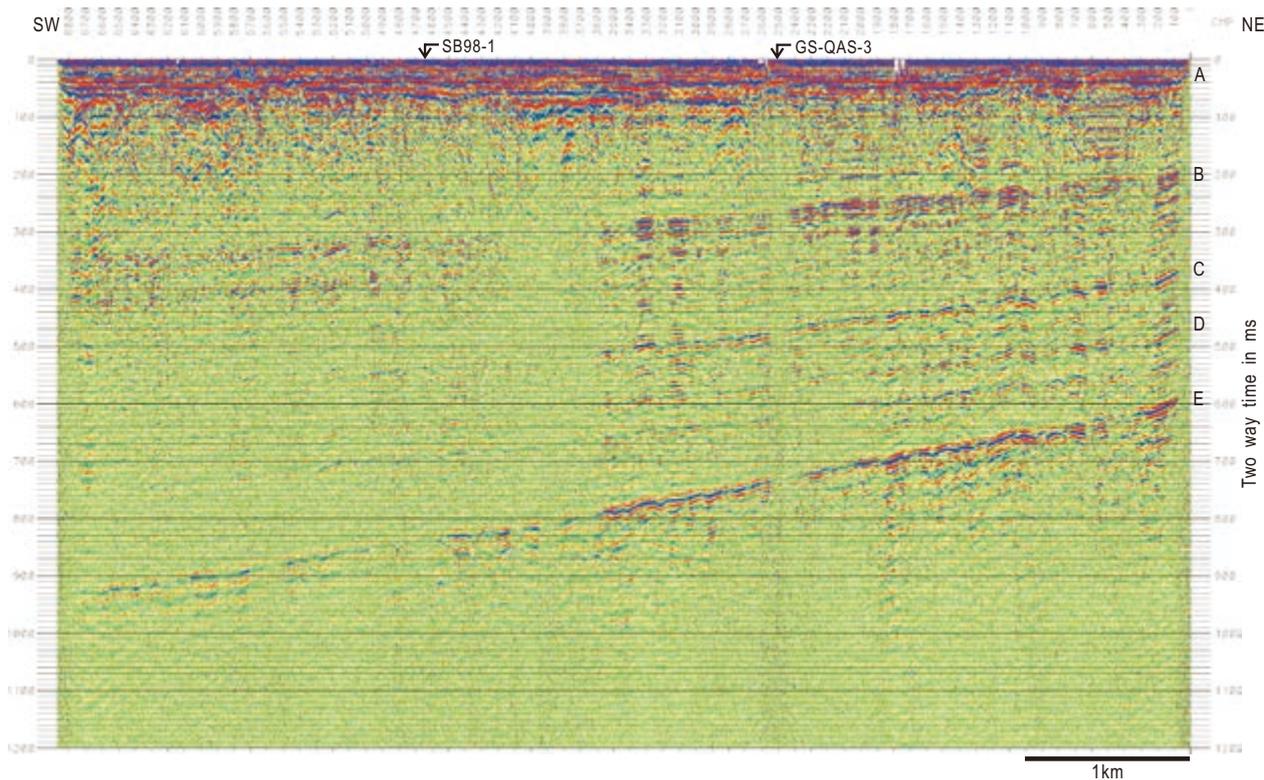
本測線はCMP4,640付近で石油公団(2000)のSB98-1測線と交差する。石油公団(2000)の解釈を参照すると、断面図で最深のEは先新第三系上限、Dは上総層群大原層上限、Cは黄和田層上限、Bは大田代層上限と考えられる。先新第三系上限は交差箇所の300 mほど北方の坑井旭R-2で標高-733 mである(石井, 1962)。反射面の波状の形態は、データ処理に起因する偽像か、それとも稠密な測点間隔により捉えられた微細構造か、今後検討する。反射面の傾斜変化はCMP測線の湾曲の影響も考えられる。

今回、目標深度を300 mとしたが、条件が良ければ、シングル受振器を用いた簡便な探査システムで深度700 m以深まで探査可能であることが実証された。

九十九里低地（旭市矢指ヶ浦）沿岸陸域における浅部地下構造調査



第3図 発震記録。
 垂直重合と振幅調整後の発震記録 500発震点（1km）毎に表示
 SOURCE：発震点番号 RECEIVER：受振点番号。
 Fig.3 Shot records.
 Vertical stack and Gain recovery are applied. Every 500 shot point (1km interval)
 SOURCE: source station number RECEIVER: receiver station number.



第4図 予備的なCMP重合時間断面図。
簡易的なデータ処理によって作成した。およその縦横比は4:1。
SB98-1, GS-QAS-3, A, B, C, D, Eは本文を参照。

Fig4 Preliminary CMP stacked time section.
Simple processing is applied. Approximate vertical exaggeration is 4.
SB98-1, GS-QAS-3, A, B, C, D and E are referred in the text.

6. まとめ

千葉県旭市の沿岸陸域で反射法地震探査による浅部地下構造調査を実施した。主な仕様は震源：P波油圧インパクト，測点間隔：2 m，最大オフセット：382 m，測線長7 km等である。発震記録で，見掛け速度約1.6 km/sの初動が最大オフセットまで達し，反射波は往復走時900 ms程度まで見られる。簡易データ処理で作成した予備的なCMP重合断面で，数10 msの極浅部に沖積層の凹凸のある反射面，それ以深の900 msまでに傾斜する上総層群と先新第三系の上限が捉えられた。今後，詳細なデータ処理を進めて反射断面を高精度化する。

謝辞：本調査の実施に際して，千葉県北部林業事務所，千葉県海匠土木事務所，旭市役所に様々な便宜を図っていただきました。データ取得の現地作業はサンコーコンサルタント株式会社が実施しました。上記の皆様には心からの謝意を表します。

文献

- 林 広樹・中満隆博・柳沢幸夫・渡辺真人・堀内誠示・嶋田智恵子・北村敦史・関口渉次・笠原敬司（2009）千葉県山武市蓮沼高感度地震観測井の孔井地質と地質年代。防災科学技術研究所研究報告，**73**，19-39。
- 石井基裕（1962）関東平野の基盤。石油技術協会誌，**27**，405-430。
- 関東地方土木地質図編纂委員会（1996）関東地方土木地質図4。
- 小松原純子・水野清秀（2016）九十九里平野北部～中部のボーリング調査。平成27年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告，産業技術総合研究所地質調査総合センター速報，no.71，25-41。
- 国末彰司・三田 勲・和气史典（2002）千葉県茂原ガス田の地下地質と水溶性天然ガス・ヨウ素の生産性について。石油技術協会誌，**67**，83-96。
- 森脇 広（1979）九十九里浜平野の地形発達史。第四紀研究，**18**，1-16。
- 森脇 広（1986）日本の地質3 関東地方 九十九里低地。日本の地質「関東地方」編集委員会，共立出版，

199-200.

七山 太・中里裕臣・大井信三・中島 礼 (2016) 茂原地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 101p.

石油公団 (2000) 平成 10 年度国内石油・天然ガス基礎調査 海上基礎物理探査「房総沖浅海域」調査報告書. 石油公団.

Tamura T., Murakami F., Nanayama F, Watanabe K., Saito Y. (2008) Ground-penetrating radar profiles of Holocene raised-beach deposits in the Kujukuri strand plain, Pacific coast of eastern Japan, *Marine Geology*. **248**, 11-27.

山口和雄・伊藤 忍 (2015) 九十九里低地（真亀一片貝地区）沿岸陸域における浅部地下構造調査 ―データ取得―. 平成 26 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no.68, 19-25.