

茨城県玉造町における反射法地震探査結果 —新第三系下の覆在断層の発見—

横倉隆伸* 加野直巳* 渡辺史郎*
山口和雄** 牧野雅彦* 二宮芳樹*

YOKOKURA, T., KANO, N., WATANABE, S., YAMAGUCHI, K., MAKINO, M. and NINOMIYA, Y. (1987)
Results of seismic reflection survey in Tamatsukuri area, Ibaraki Prefecture, Japan—Discovery of concealed fault in pre-Neogene basement—*Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.38(12), p. 755-764.

Abstract : Seismic reflection survey was conducted in Tamatsukuri area, northeast of the Lake Kasumigaura, Ibaraki Prefecture, in order to clarify the subsurface geology, especially the shape of the pre-Neogene basement. In the analysed section, there are two major reflectors at about 230m and 440m in depth. The former is nearly horizontal, but slightly declines toward the Lake Kasumigaura. The latter has a discontinuity at the middle of the section. It seems to be a thrust fault, where the western part overrides the eastern part. Besides these reflectors, there is a weak reflector at about 2km in depth. Judging from the geology around Tamatsukuri, the reflector of 230m deep may correspond to the boundary between the Pliocene-Pleistocene series (Kazusa group) and Miocene series, and that of 440m deep to the boundary between Miocene series and pre-Neogene basement. The reflector of 2km deep might correspond to the upper surface of mafic-ultra mafic rock body which has been suggested by analysis of air-borne magnetic data. The discontinuity of pre-Neogene basement lies just above the west bound of the mafic-ultra mafic rock, suggesting that there might be some relation between these.

1. はじめに

物理探査部では昭和61年度より、経常研究『物理探査の研究』の一環として、「地震探査による茨城県南部周辺地域の地下構造の研究」と題する三ヶ年計画を開始した。その目的は茨城県南部・霞ヶ浦周辺の先新第三系基盤・新第三紀以降の堆積物等の構造を詳細に解明することである。

当地域においては物理探査データ・ボーリング資料等が乏しく、地下構造の精度良い把握が困難な状況にある。当地域周辺で行われた物理探査としては、重力測定・爆破地震観測・空中磁気探査があげられる。それらにより現在までに得られていることをまとめると次のようになる。

重力データは駒沢によりコンパイルされ、関東平野全域にわたるプーゲー異常図(駒沢, 1985), およびそれに基づく先新第三系基盤深度分布図(駒沢, 1984)が得ら

れている。その結果によれば、霞ヶ浦周辺での基盤深度は500m程度と求められている。また特徴的なことは、水戸西方より、茨城町を通り、霞ヶ浦までプーゲー異常の急変帯が南北に走っていることである。これは先新第三系基盤としての中生界の深度が大きく変化していることを意味している。

爆破観測に関しては長谷川ほか(1984)による夢の島-大洗測線が霞ヶ浦の西端をわずかにかすめている。その結果によれば、基盤深度は石岡付近を頂点として両側へ階段状に低下しているが、霞ヶ浦西端ではその深度はやはりおよそ500mとなっている。

空中磁気探査は地質調査所および新エネルギー総合開発機構により行われている。堀川ほか(1979), 小川ほか(1979)の解析結果によれば、深度約3kmの磁性岩体が霞ヶ浦南半部の地下を横切るようなかたちで存在することが推定されている。しかしこの岩体は我々の求めようとする「基盤」よりも深部のものである。また筑波山塊を構成する中生界は磁性が弱く、磁気探査により基盤の深度を推定することは困難である。

*物理探査部

**元物理探査部 現石油公団石油開発技術センター

これら以外に基盤深度に関するデータは存在していない。そのため反射法・屈折法を含めた地震探査手法による詳細な地下構造の解明が必要とされる。

昭和61年度の反射法探査により若干の新知見を得ることができた。測線が1測線のみであり、直交測線がないため、測線の横方向からの反射波の影響がないとはいえないなど、現在まだ研究続行中であるが、当地域の地下構造に関するデータの乏しい状況をかながみて、この新知見を速報として報告し、大方の参考に供したい。

2. 地質の概要

当地域は関東平野の東半部を占める広大な常総台地の中央部にあたる。当台地は上部更新統に広く覆われ、地下地質を直接に見ることはほとんど出来ない。基盤に関する直接的な情報は、台地周辺部にわずかに見られるだけである。

当地域の北東の大洗、南東の犬吠崎にはそれぞれ上部白亜系、下部白亜系が露出している。大洗、犬吠崎の中間の鹿島では試錐により887mの深さでやはり白亜系が見出されている(例えば地質調査所燃料部石油課, 1959)。また北西の筑波山塊には中生界(主にジュラ系)が露出している。更に間接的ではあるが、先に述べたブーゲー異常の急変帯よりも西方ではこの中生界が比較的浅所(200-400m)に存在するが、東方に向け急激にその深度を増していくと予想される(駒沢, 1984; 横倉, 1985)。事実、横倉ほか(1985)は当地域の北方茨城町周辺における反射法探査により中生界が約15度の角度で東方へ傾斜していることを示した。

基盤直上に存在する地層はこの急変帯を境に異なると

いると予想される。坂本ほか(1981)は石岡周辺の深井戸資料をもとに当地域北方の地下構造を明解に示した。横倉ほか(1985)は反射法探査結果をもとにして、また横倉(1985)は重力データをも加味して、彼らの地下構造に修正を加えた。それらによれば東方では基盤の上に中新統、上総層群(鮮新-下部更新統)、下総層群(中-上部更新統)が順に重なっている。西方では基盤に直接上総層群が接し、その上に下総層群がのる。東方の中新統の存在を直接に示すものは試錐である。先に述べた鹿島試錐(地質調査所燃料部石油課, 1959)でも、また基盤に達していないが旭村試錐(坂本, 1975; 坂本ほか, 1981)でも、中新統が見出されている。

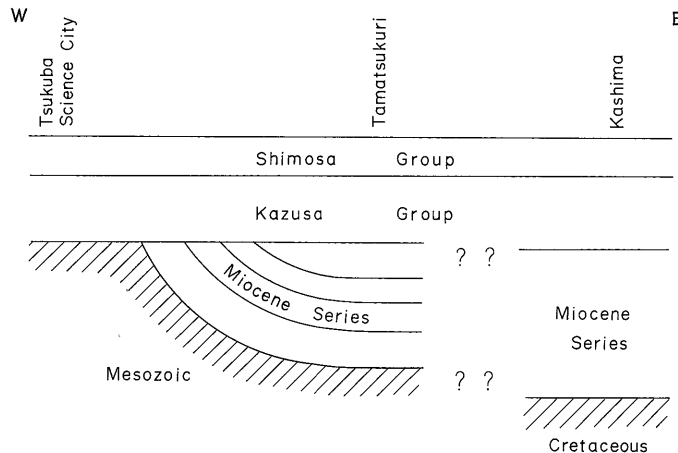
以上のことをもとにして、予想される当地域の模式的な地下構造を示したものが第1図である。図の白亜系が単に海岸近くに断片として存在するのか、それとも西方へ広がりを持っているのかは明らかではない。

本研究計画において、基盤構造を詳細に解明することにより、上述の筑波山塊を構成する中生界の東限、あるいはその中生界と東方の白亜系との関係等に関し何らかの知見を得たいと考えている。

3. 探査および処理の概要

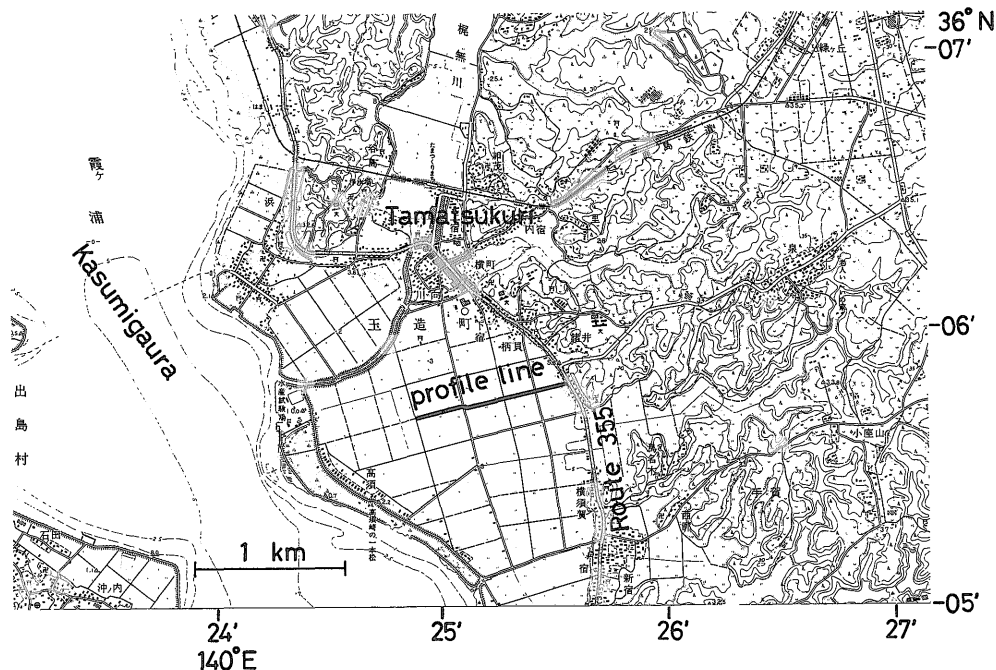
3.1 測線

探査は霞ヶ浦北東岸の茨城県玉造町で行われた。測線は玉造市街地南方の農道に沿っており、霞ヶ浦の湖岸低地上に位置する(第2図)。測線は長さ約1kmで、ほぼ東西に伸び、その東端で約5m、西端で約2mの標高を示す。なお本探査は昭和61年10月14日-29日の間に行われた。



第1図 当地域の予想される模式的な地下構造

Fig.1 Schematic subsurface structure around the surveyed area.



第2図 探査測線 図中の太線が測線。国土地理院発行 1 : 25,000 「常陸玉造」の一部を使用
 Fig.2 Profile line. Bold line: profile line. Map: part of “Hitachi-Tamatsukuri (1:25,000)” published by Geographical Survey Institute.

3.2 探査の諸元

本探査に使用された探鉱器はDHR-2400(Input/Output社製)、震源はダイナソース(EG & G Geometrics社製)である。探鉱器の説明は既に何度かなされている(例えば、横倉・加野, 1983b; 渡辺・加野, 1984)ので省略する。震源の構成・機能については渡辺ほか(1985)、横倉ほか(1986)に述べられている。

使用した探査の諸元は第1表のとおりである。本探査では深部の情報をも得られるように、サンプリング間隔を2msとし、CDP重合数も通常の2倍の24となるようにした。DHR-2400は24チャンネルの探鉱器であるが、同一発振点で震央距離の異なる2回の探査を行い、48チャンネルの記録とした。これにより24CDP重合が可能となり、深部の反射面がより明瞭となった。

3.3 処理の概要

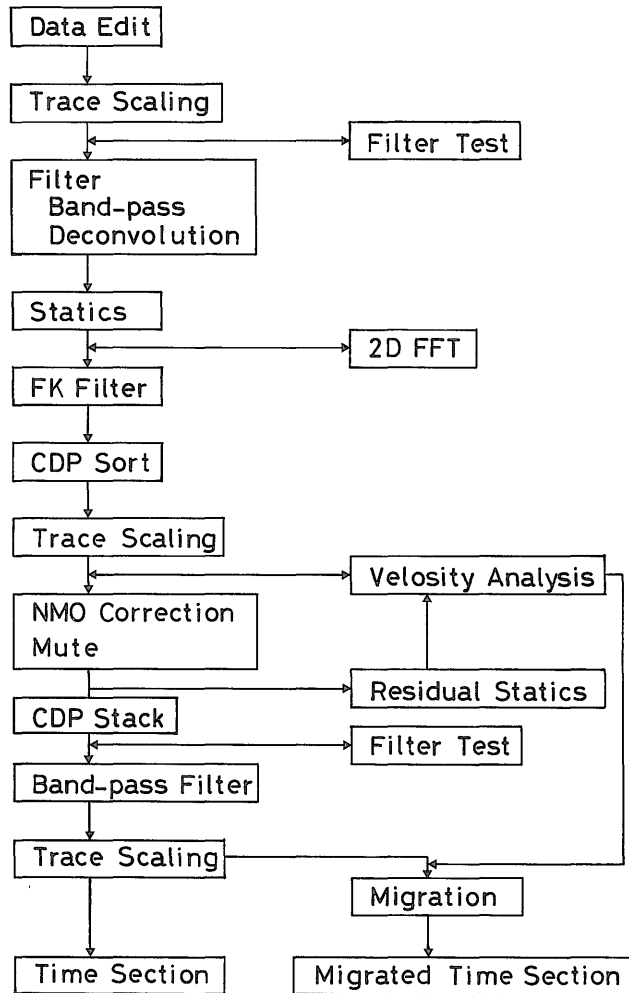
収録されたデータは地質調査所の会話型高速処理システム(加野ほか, 1983)を使用して処理された。データ処理の流れ図は第3図のとおりである。すべて通常使用されている処理ばかりである。

このうち、最初の振幅調整は時間の1乗に比例するよなものとした。これはほぼ球面発散の補正に相当する。

第1表 探査の緒元

発振点間隔	10 m
受振点間隔	10 m
震央距離	50-520 m
垂直重合数	4
グルーピング	12 個/ch.
CDP重合数	24
サンプル間隔	2 ms
ローカット・フィルター	42Hz 24 dB/oct
探鉱器	DHR-2400
振源	ダイナソース
受振器	GS-30D(fo=40Hz)

静補正は初動走時を利用して補正量を求める、横倉・加野(1983a)の方法によっている。静補正の基準面は海拔0mとした。また反射法にとってのノイズである初動付近および表面波を除去するためにFKフィルターを用いた。更にNMO補正の際、波形が2倍以上に広がったものは自動的にミュートされるようにした。



第3図 データ処理の流れ図
Fig.3 Flow chart of seismic data processing.

4. 処理結果

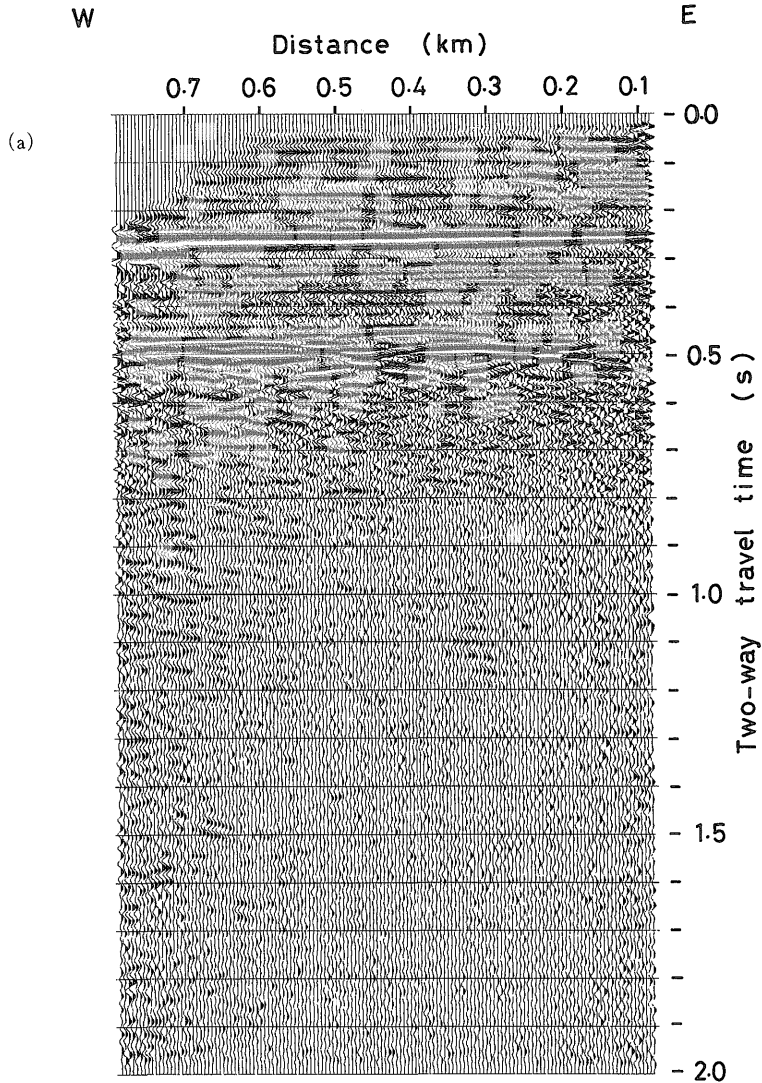
データ処理結果のうち、マイグレーション前の時間断面、マイグレーション後の時間断面をそれぞれ第4図(a), (b)に示す。

明瞭な反射面は往復走時約0.27s付近(以下反射面Aと呼ぶ)、および0.48s付近(以下反射面Bと呼ぶ)に存在する。区間速度は反射面Aまでが約1.7km/s、AB間が約2km/sである。その値は場所によらずほとんど一定である。地表から反射面Bまではほとんど水平成層であるが、ゆるやかに震ヶ浦方向に傾き下がっているようである。

第4図(a)の反射面B直下は回折波が多く判然とは

しないが、マイグレーション後の断面(b)では距離約0.4kmに反射面Bの不連続が存在する。交差測線が無い場合正確なことは分からないが、見掛け上この不連続は西側が東側にのしあげる形の逆断層となっている。断層を書き込んだものが第4図(c)である。本探査の分解能はあまり良くないためはっきりとはしないが、子細に見るとこの断層は少なくとも反射面Aまで達しているようである。ただしその落差は小さい。

反射面Bの下位にもいくつかの弱い反射面らしきものが存在する。震源の出力が小さく、S/N比が悪いため判然としない。しかしその中でもやや強めの、東側1.1s付近(以下Cと呼ぶ)のものは真の反射面である可能性がある。速度解析によりBC間の区間速度として



第4図 処理結果 (a) マイグレーション前の時間断面 (b) マイグレーション後の時間断面 (c) 断層を書き加えたマイグレーション後の時間断面. 縦軸: 往復走時 (s). 横軸: 国道 355 号線からの距離 (km)

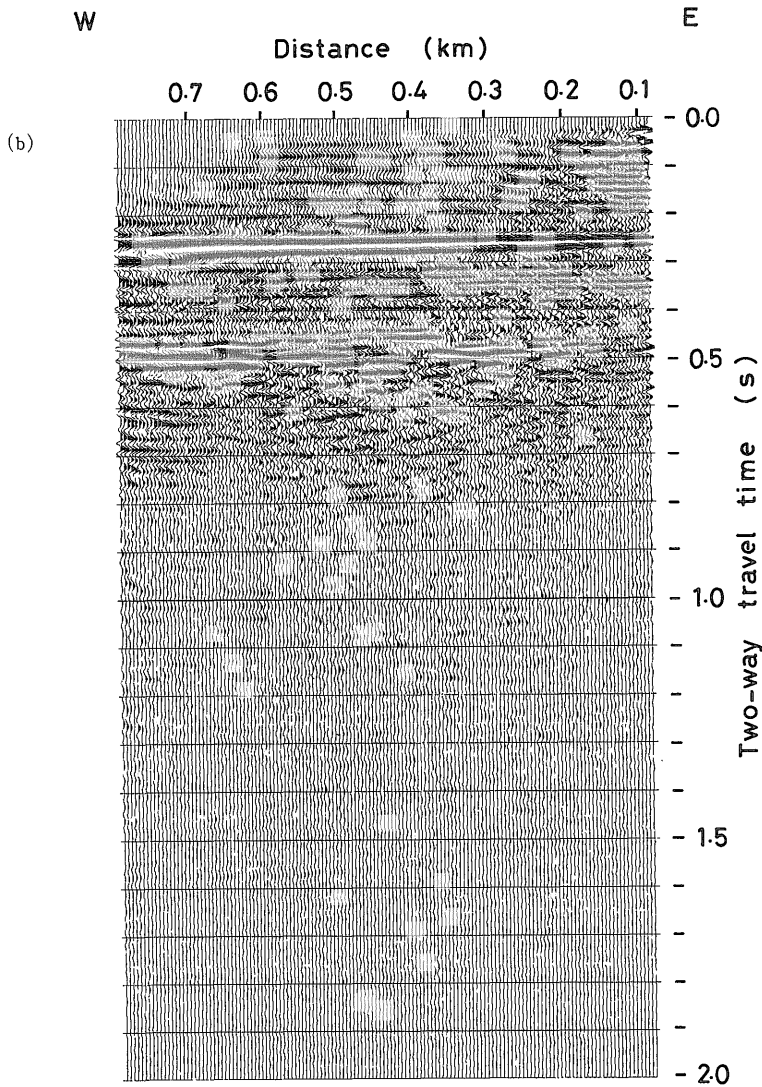
Fig. 4 Time sections. (a) unmigrated time section. (b) migrated time section. (c) migrated time section where fault location is indicated. Ordinate: two-way travel time in s. Abscissa: distance in km, measured from Route 355.

4 km/s 弱という速度が得られている。また西側 1.0s 付近にも反射面らしきものが認められるが、ここでは意味のある区間速度は得られなかった。

5. 考 察

本節では、第2節で述べた地質の概要および近隣の試錐の結果とに基づき、上述の各反射面と地質との対比を行う。

まず反射面 A について考察する。反射面 A は上総層群と中新統との境界と考えられる。その根拠として、約 20km 北方の旭村試錐 (坂本, 1975; 坂本ほか, 1981) および反射法探査結果 (横倉ほか, 1985) があげられる。旭村試錐では上総層群-中新統境界の深度は 199.6m であり、A の深度 230m とほぼ同じである。また区間速度は A までが約 1.7km/s, AB 間が約 2.0km/s であり、横倉ほか (1985) の上総層群, 中新統の区間速度とそれ



第4図 つづき
Fig.4 continued

ぞれ調和的である。

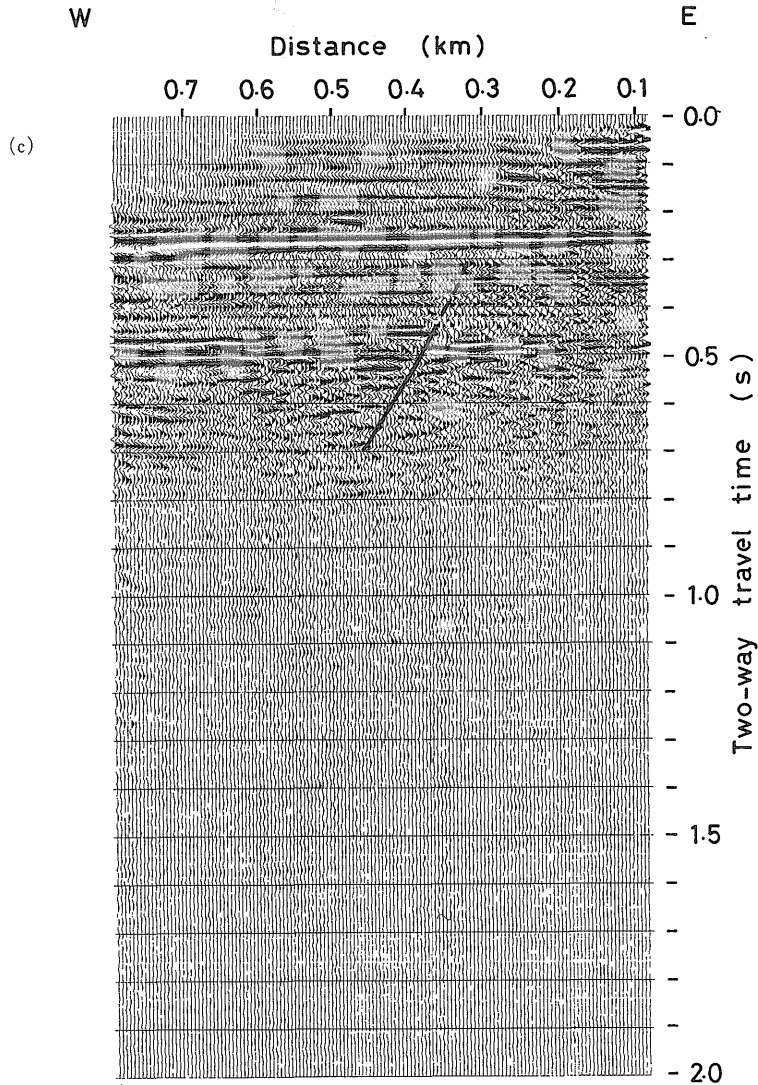
これらの反射法探査結果およびボーリング資料(坂本, 1975; 坂本ほか, 1981; 国土庁土地局国土調査課編, 1979)をもとに, 東経 140°25' に沿った, 上総層群基底面の深度分布図を描くことができる。第5図にその結果を示す。(a)に反射法探査・ボーリングの位置を, (b)に深度分布を示す。これから上総層群基底面深度は北から南へ向かって徐々に深度を増し, 石岡付近で二百数十mに達し, ほぼ平らになることが分かる。

一方反射面 B においては, 反射の原記録上で反射波の振幅が A のそれよりも大きいという事実から, B に

おいて大きな速度コントラストが存在することが分かる。従って B は中新統-先新第三系の境界に相当すると考えられる。すなわち B 以下がいわゆる基盤に相当する。

現時点においては, B における不連続がどのような意味を有するものであるか明らかではない。筑波山塊のブロック運動に伴う中生界内部の断層である可能性もあるし, また第2節で述べた東方の白亜系と西方の中生界とをへだてる断層である可能性もある。

この不連続に関連して付け加えておきたいことは, その位置が堀川ほか (1979), 小川ほか (1979) による空



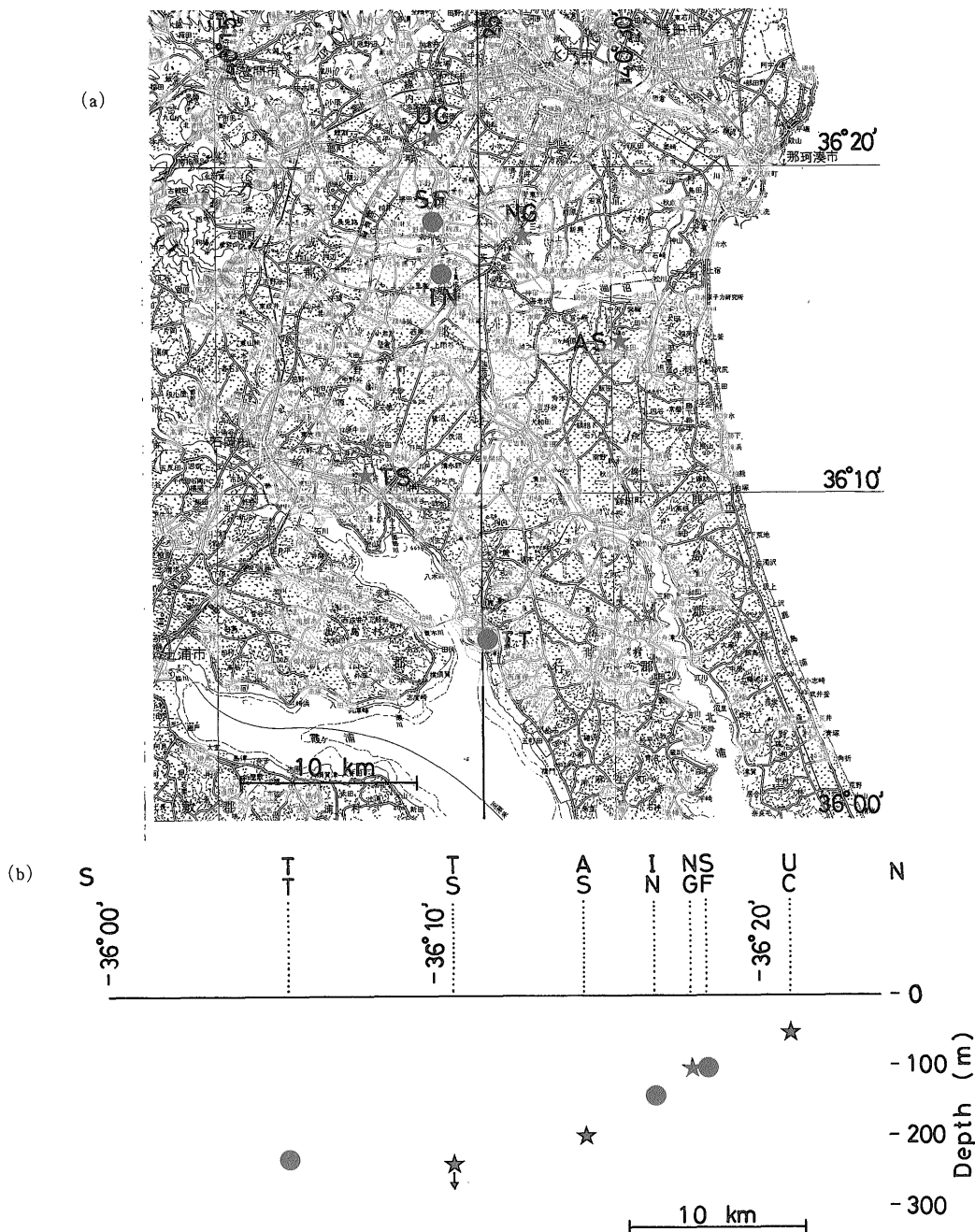
第4図 つづき
Fig.4 continued

中磁気探査の解析結果の磁気区 A の西縁に一致しているということである。同磁気区は阿武隈帯の塩基性-超塩基性岩体の延長と考えられており、彼らによればその磁性岩体上面の深度はおよそ 3 km であるという。従って同磁性岩体の西縁が本研究によって得られた基盤の不連続のものではない、しかしその位置の一致の良さは注目に値する。ひとつの可能性として、本研究で得られた不連続がこの塩基性-超塩基性岩体の西縁にまで続く根の深いものであるということも考えられる。

前述の反射面 C が真の反射面であるとすると、その深度は 2 km 弱となる。磁気異常解析による磁性岩体深

度の計算上の不確かさを考え合わせると、反射面 C そのものが堀川らの解析した磁気区 A に対応する磁性岩体の上面に相当する可能性も考えられる。

本探査で用いられた震源は出力が小さく、C 付近について断定的な議論をすることはできない。しかし BC 間で試算された区間速度は 4 km/s ほどであり、白亜系ないし中生界の速度としておかしいものではない(服部・杉本, 1975a, b)。すなわち C が真の反射面である可能性は高いと考えられる。従って上で述べたことは単なる憶測にとどまらない可能性もある。今後その当否を確かめるために何らかの手段をもって探査することが必要で



第5図 反射法探査結果およびボーリング資料に基づく東経140°25'近傍の上総層群基底面深度 (a) 反射法探査測線およびボーリングの位置(図は国土地理院発行1:200,000「水戸」の一部を使用。) (b) 上総層群基底面深度の南北断面。丸印: 反射法探査測線(SF:水府学院, IN:飯沼, TT:玉造)。星印:ボーリング(UC:内原, NG:長岡, AS:旭村, TS:玉里)。矢印はそのボーリングが基底面に達していないことを示す。

Fig.5 Bottom depth of the Kazusa group near 140°25' E, based on reflection survey and boring data. (a) location map of sites of reflection survey and boring (Map: part of "Mito(1:200,000)" published by Geographical Survey Institute. (b) N-S section of the bottom depth along 140°25' E. Closed circles: sites of reflection survey (SF: Suifu-Gakuin, IN: Iinuma, TT: Tamatsukuri). Stars: boring sites (UC: Uchihara, NG: Nagaoka, AS: Asahi Mura, TS: Tamasato). An arrow means the boring did not reach to the bottom of the Kazusa group.

あろう。

6. ま と め

本研究によって得られた。当地域の地下地質構造をまとめると次のようになる。

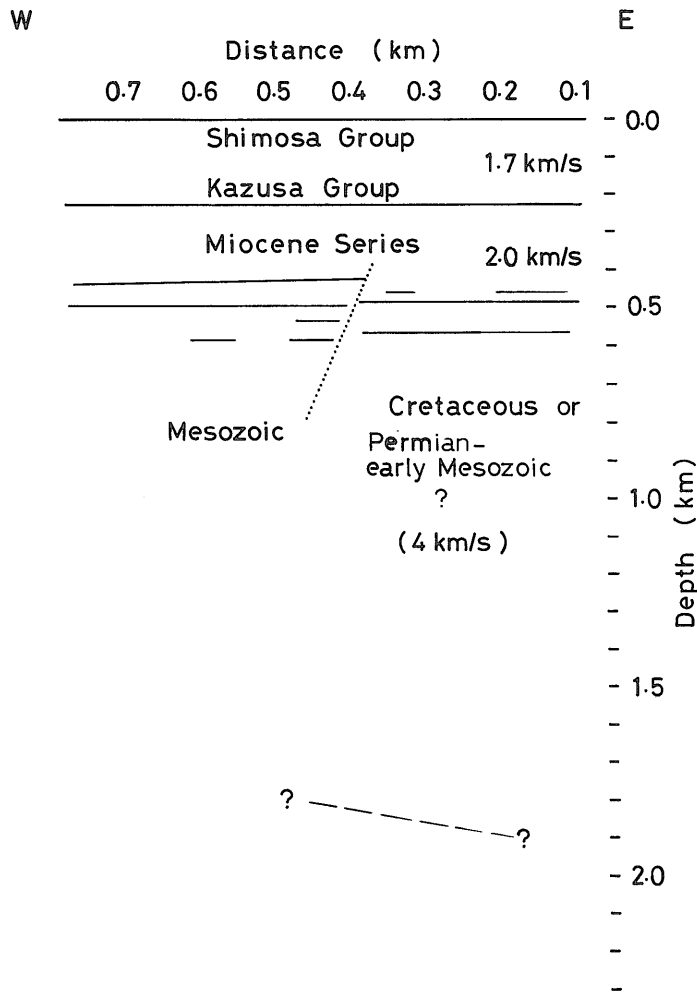
- (1) 下総層群・上総層群を合わせた層厚はおよそ 230m であり、これらはほぼ水平成層をしている。
- (2) 上総層群の下位には、層厚およそ 210m ほどの中新統が存在する。中新統も東西方向にはほぼ水平成層をしている。
- (3) その下位はいわゆる先新第三系基盤である。
- (4) 距離およそ 0.4km 付近に基盤の不連続が存在する。それは見掛け上、西上がりの逆断層 (落差数 10m) を

呈しており、落差は小さくなるが上位の中新統まで続くように見える。

(5) 先新第三系基盤内の深度およそ 2 km にも反射面らしきものが存在する。S/N 比が悪いため断定はできないが、試算された区間速度がおよそ 4 km/s であることから真の反射面である可能性がある。

(6) 上述の基盤の不連続がどのような意味を持つものであるかは現時点では明らかではない。しかし空中磁気探査により想定されている深部の塩基性-超塩基性岩体と何らかの関連を有する可能性が考えられる。

以上を模式的にまとめたものが第 6 図である。今後当探査データのより高度な解析を行うとともに、新たな探査を続け、当地域周辺の基盤構造の詳細を解明して行き



第 6 図 当探査測線における地下構造のまとめ
Fig.6 Summary of subsurface structure of the surveyed area.

たいと考えている。

謝 辞 本論文をまとめるにあたり、地質調査所地質標本館坂本 亨館長、同物理探査部宮崎光旗技術開発課長、中塚 正探査課長より様々な有益な助言・示唆・批判をいただいた。上記の方々に対し、ここで心からの感謝の意を表します。

なお本研究は経常研究『物理探査の研究』中の「地震探査による茨城県南部周辺地域の地下構造の研究」の一環として行われた。

文 献

- 地質調査所燃料部石油課(1959) 南関東のガス田。地質ニュース, no.64, p.1-7.
- 長谷川 功・佐藤隆司・伊藤公介・鈴木尉元・小玉喜三郎・奥田庸雄・佐藤賢司・高梨祐司・楡井 久・原 雄・樋口茂生・古野邦雄・水上雅義・飯塚 進(1984) 夢の島-大洗の地下構造。地震学会講演予稿集 昭和59年度秋季大会, no.2, p.232.
- 服部保正・杉本卓司(1975a) 岩石のP波伝播速度に関する統計的研究(I)。物理探査, vol.28, p.3-12.
- (1975b) 岩石のP波伝播速度に関する統計的研究(II)。物理探査, vol.28, p.43-56.
- 堀川義夫・津 宏治・小川克郎(1979) 茨城県日立-千葉県鴨川地域の空中磁気異常と地質構造 第I報 調査データ処理法および解析結果。地調月報, vol.30, p.487-511.
- 加野直巳・横倉隆伸・渡辺史郎(1983) 地質調査所の反射法処理システム—会話型高速処理システム—。地調月報, vol.34, p.311-327.
- 国土庁土地局国土調査課編(1979) 全国地下水(深井戸)資料台帳 関東編。1112p.
- 駒沢正夫(1984) 首都圏の重力分布と基盤構造。地震学会講演予稿集 昭和59年度秋季大会, no.2, p.231.
- (1985) 関東地域重力図(ブーゲー異常図) 1:200,000。特殊地質図24, 地質調査所。
- 小川克郎・堀川義夫・津 宏治(1979) 茨城県日立-千葉県鴨川地域の空中磁気異常と地質構造 第II報 磁気構造と地質構造。地調月報, vol.30, p.549-569.
- 坂本 亨(1975) 磯浜地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 55p.
- ・相原輝雄・野間泰二(1981) 石岡地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 50p.
- 渡辺史郎・加野直巳(1984) 論理的演算処理機能をもつ地震探査器。物理探査, vol.37, p.237-244.
- ・横倉隆伸・加野直巳・山口和雄(1985) 加速型重錘落下振源ダイナソースの実験。物理探査学会 昭和60年秋季講演会講演予稿集, p.25-26.
- 横倉隆伸・加野直巳(1983a) 反射法地震探査のための簡単な静補正法。物理探査, vol.36, p.191-200.
- (1983b) 反射法の震源—特にミニソシーの原理について—。地質ニュース, no.351, p.6-18.
- (1985) 関東平野北東部の基盤構造。地震学会講演予稿集 昭和59年度秋季大会, no.2, p.244.
- ・渡辺史郎・加野直巳・山口和雄・田中信一(1985) 筑波山塊東麓の浅部地質構造—反射法探査結果—。地震, vol.38, p.497-511.
- ・加野直巳・山口和雄・渡辺史郎(1986) 加速型重錘落下振源ダイナソースによる探査例。物理探査学会昭和61年春季講演会講演予稿集, p.53-54.

(受付:1987年1月27日;受理1987年10月9日)