

微動および重力異常を用いた  
鳥取平野の地盤構造推定に関する研究

2002年1月

野口 竜也

# 目次

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第1章 序論               | 1  |
| 1.1 背景および目的          | 1  |
| 1.2 本論文の構成           | 3  |
| 参考文献                 | 4  |
| 第2章 対象地域の概要          | 7  |
| 2.1 鳥取平野の地形及び地質      | 7  |
| 2.2 既存の地盤データ         | 8  |
| 参考文献                 | 9  |
| 第3章 微動探査法による推定       | 20 |
| 3.1 解析方法             | 20 |
| 3.1.1 SPAC法の基本理論     | 20 |
| 3.1.2 H/Vの基礎概念       | 24 |
| 3.2 観測の実施            | 25 |
| 3.3 速度構造の推定          | 26 |
| 3.3.1 観測記録のデータ処理     | 26 |
| 3.3.2 1次元地盤構造モデルの推定  | 28 |
| 3.3.3 H/Vによる基盤構造の推定  | 31 |
| 3.4 まとめ              | 33 |
| 参考文献                 | 34 |
| 第4章 重力探査法による推定       | 56 |
| 4.1 解析方法             | 56 |
| 4.1.1 基本理論           | 56 |
| 4.1.2 各種補正           | 58 |
| 4.1.3 最適密度の推定方法      | 60 |
| 4.1.4 フィルタリング        | 62 |
| 4.1.5 2次元定量解析        | 63 |
| 4.1.6 3次元モデル解析       | 64 |
| 4.2 観測の実施およびデータ処理    | 65 |
| 4.3 密度構造の推定          | 65 |
| 4.3.1 最適密度の推定        | 65 |
| 4.3.2 重力異常による基盤構造の推定 | 66 |
| 4.4 まとめ              | 68 |
| 参考文献                 | 68 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第5章 微動及び重力探査結果による総合解析 | 77 |
| 5.1 微動と重力探査結果の関係      | 77 |
| 5.2 微動と重力異常の併用解析      | 78 |
| 5.2.1 2次元密度構造の推定      | 78 |
| 5.2.2 3次元基盤構造の推定      | 80 |
| 5.3 まとめ               | 81 |
| 参考文献                  | 82 |
| 第6章 結論                | 92 |
| 謝辞                    | 94 |
| 付録                    | 95 |

# 第1章 序論

## 1.1 背景および目的

本研究の対象地域である鳥取市は人口 15 万人を有し、地方主要都市として山陰東部地域の社会・経済活動の拠点である。都市部は軟弱地盤が大半を占める鳥取平野内に位置しており、地震時には地盤震動の増幅作用により被害が拡大することが予想される。よって、地震被害の想定を正確に行うには地震動特性を把握する必要がある。

この地域では 1943 年の鳥取地震(M7.2)では大きな被害を受けており、その被害が平野内に集中したとの報告がある<sup>1)</sup>。この原因の一つとして、地域的な地盤構造の影響が考えられる。1995 年の兵庫県南部地震では、地震被害に地域性(震災の帯)が形成された。この原因として、表層地盤の影響による原因や、神戸地区の基盤の急変構造が原因との指摘もある<sup>2)3)4)</sup>。この地域においても、表層地盤の違いや基盤面の 2・3 次元的な急変構造が存在するものと考えられるため、地震動特性の評価を詳細に行うためには、地盤構造の把握が不可欠である。この地域での地盤構造のデータとして、堆積層についてはボーリングデータが数多く存在し標準貫入試験による N 値、土質層序が調査されており、また数箇所 PS 検層、屈折法探査などにより直接弾性波速度構造を調査した例がある。これらのデータから周期およそ 1 秒より短周期での地震動評価は可能であると考えられる。しかし、周期およそ 1 秒以上の周期数秒の長周期領域での地震動評価には、地下数 km に及ぶ S 波速度約 3km/s, P 波速度約 5km/s 程度の地震基盤までの地盤構造の情報が必要となる<sup>5)</sup>。この地域では地震基盤までの地盤構造、弾性波速度構造のデータはほとんど存在しない。

平野内の地震動評価に利用するための地盤構造の調査方法としては、基盤岩層までの深層ボーリングによって直接地層の層序、弾性波速度、密度を調査する方法が考えられる。しかし、この調査を高密度、広範囲に行うことはコストや効率の面で容易ではない。その他の有効な手段としては物理探査法が考えられる。地盤構造に関する情報を弾性波速度、密度などの物理量によって俊敏かつ効率的に得ることができる。特に地震動特性の把握に必要なパラメータとなる弾性波速度構造や基盤深度情報については、反射法や屈折法といった地震探査法を用いることにより 2 次元的に把握できる。この手法を多くの断面で利用すれば 3 次元的な地盤構造推定も可能である。反射法や屈折法の観測システムは、適用が困難であった都市部において利用が可能となるなど、最近では観測方法の向上が図られているが、それでも相当大掛かりなもので、観測場所の制限やコストの面などで問題が残る。その他の弾性波速度、2・3 次元の基盤構造を調査できる有力な方法として、微動探査法および重力探査法が挙げられる。

微動探査法では、人工震源を使わず自然に存在する振動を捕えるため、都市部などでの適用が可能で、また反射法や屈折法に比べ低コストで探査することができる。微動とは振幅が数ミクロンの微小な振動で、その発生源は、交通振動や工場施設などの人工的

な振動源、海の波浪、気圧変動、風などの自然現象と考えられており、時間場所を問わず測定することができる。微動には地盤特性に関する情報が含まれているが、発生源の特性も含まれていることから、いかに発生源特性を取り除き、地盤特性に関する情報を抽出するかが重要になってくる。この方法として、周期 1 秒以上のやや長周期微動について、微動の鉛直成分の群列配列(アレイ)観測に基づき、表面波であるレイリー波の分散特性を求め、逆解析により地下数 km までの S 波速度構造を推定する方法がある。この方法には円形アレイを用いた空間自己相関法<sup>6)</sup> (Spatial Autocorrelation Method, SPAC 法)、任意のアレイを用いる F-K 法<sup>7)</sup>がある。このアレイ観測による S 波速度構造推定が各地で実施されている<sup>8)9)</sup>。また地震探査法の基盤深度との対応が良いという報告もある<sup>10)11)</sup>。また、周期 1 秒以下の短周期領域の微動についても、同様な方法で堆積層を含む地盤構造の推定の可能性が示されている<sup>12)</sup>。

その他微動の発生源を除去する方法として、堆積地盤と岩盤上の 2 点間の水平動同時記録による堆積地盤/岩盤スペクトル比(H/H)、あるいは 1 点で観測された微動の水平動/上下動スペクトル比(H/V)を利用する方法がある。H<sub>s</sub>/H<sub>r</sub>を用いることによって、安定した微動特性を得ることができることの報告がある<sup>13)14)</sup>。ただし、この特性を評価するためには複数の観測点間で微動の入力が同じであることが条件となる。実際にどの範囲まで微動の入力が同一であるかなどの適用性については明確には示されていない。一方 H/V は、微動に表面波のレイリー波が優勢であると考えれば、その楕円粒子軌跡の状態を見ることになり、地盤構造にのみに依存した形状を示すことが期待される。実際に、地盤構造に関する情報を得られた報告例もある<sup>15)16)</sup>。また、H/V は中村ら<sup>19)</sup>によって地盤の増幅特性を推定する方法として提案されている。この方法は数値シミュレートなどによってその有効性が確認されている<sup>17)18)19)</sup>。また、いくつかのサイトで相対的な基盤深度の把握、およびアレイ観測との併用により、補完的な地盤構造の推定にも用いられている<sup>20)21)</sup>。

重力探査法は、地下物質による万有引力に起因した重力異常から、地下の密度分布を求める方法である。ラコスト重力計やシントレックス重力計などの、可搬性、高精度、広い測定レンジをもつ高性能な重力計を用いることにより、高密度(50~500m 間隔で面的に)重力調査を実施し地下構造の密度構造を推定する。重力異常は表層から地下深部に至る情報を含んでいるため、探査目的に応じて適当な仮定密度の推定やフィルター処理が必要となる。重力異常による仮定密度の推定法の一つとしては、G-H 相関法<sup>22)</sup>や CVUR 法<sup>23)</sup>などがある。フィルタリングの処理方法としては、移動平均法<sup>24) 25)</sup>やフーリエ級数を用いた解析手法<sup>26)</sup>などがある。重力異常から 2・3 次元の密度構造の推定を行う手法としては、タルワニの方法<sup>27)</sup>を改良して、上述したフィルター処理を同時に行い、自動的に密度構造を計算する手法が開発されている<sup>23)26)</sup>。重力探査例としては、多くの金属鉱床の探査や地熱資源調査等に利用されている<sup>28)</sup>。また、浅部構造での探査

例<sup>29)</sup>や平野部における都市域での基盤構造の探査例<sup>30)31)32)</sup>などがあり、地震動評価にも活用されている<sup>33)</sup>。

微動探査法および重力探査法は、簡便性の利点を生かし高密度に観測が実施できるため、より短時間に3次元的な構造推定が可能である。また、地震動予測に必要な地盤構造推定に有効であることが既往の研究で確認されている<sup>34)</sup>。特に弾性速度構造や基盤構造(地下数百 m～数 km の範囲)を与える既存データが少ない地域では、両探査法による推定結果は地盤構造に対して重要な資料となり得る。両探査法による結果として、1)微動アレイ解析による1次元地盤構造(S波速度構造・多層モデル)、2)微動3成分観測による2次元・3次元的速度基盤構造(2層モデル)、3)重力異常解析による2次元密度構造(2層・多層モデル)および3次元重力基盤構造(2層モデル)が得られるものと期待できる。最も精度の期待できる1)での1次元的な結果を基準として、2)や3)の2次元・3次元的な構造の把握に拡張すれば、より詳細な地盤構造の推定が可能になると考えられる。

本研究の目的は、微動及び重力異常を用いることにより、鳥取平野の地盤構造を推定することである。鳥取平野およびその周辺では、地形・地質学的な研究成果<sup>35)</sup>、温泉保全調査の一環<sup>36)</sup>等での高密度重力調査データが存在する。また、本研究に先立って、過去5年間における微動探査<sup>37)38)39)</sup>、ならびに重力探査<sup>40)</sup>を段階的に実施してきた。これらのデータと今年度実施した探査データとを合わせて各種解析を行った。

## 1.2 本論文の構成

本研究では、微動及び重力解析を総合的に行うことにより、地震動予測のために必要な地盤構造を推定することを目的としている。本論文の構成は次の通りである。

1章は前述した背景及び目的および本節である。

2章は、本研究における微動・重力両探査法の適用地域についての概要である。対象とする地域は鳥取県の鳥取市、国府町、福部村、気高町、鹿野町を含む、鳥取平野とその周辺地域(東西約20km×南北10km)である。まず、この地域における地質および地形を概説する。地形・地質は両探査法において地盤構造を推定するための基礎的な資料のみならず、求められた地盤構造の検証や異なる物理量下(微動は弾性波速度、重力は密度)での総合的な解釈において橋渡しの役割を果たすと考えられる。また、鳥取平野においては表層数十 m についてのボーリング調査、PS 検層、弾性波探査結果、並びに岩石密度測定結果があり、それらの情報をまとめる。これらの資料は、微動・重力の両探査法において、地盤モデルを作成する上で重要な参考資料となる。

3章では、微動探査法の説明とその適用を示す。本研究においては微動探査法の手法としてアレイ観測による SPAC 法と単点3成分観測による H/V を利用する。まず、それぞれの手法についての解析の原理、方法、観測の実施について述べる。地盤構造の推定として、アレイ観測記録からは1次元の弾性波速度構造モデル、単点観測からは速度

による基盤深度の推定を試みる。

4章では、重力探査法の説明および適用例を示す。重力探査法とは、地球内部の密度の不均質によって生じる微細な重力異常を地上で検知して地下の構造を調査する方法である。まず、その重力異常についての基本原理と算出に必要な補正、その重力異常から地盤構造を推定するための手法、観測の実施について説明する。地盤構造の推定では、重力異常から密度による基盤構造の推定、および密度構造の定量解析を行う。

5章では、3章と4章で得られた結果を総合的に判断して地盤構造の推定を試みる。まず、微動・重力の両探査結果のクロスチェックを行いそれらの関係を調べる。その関係をもとに微動と重力異常を併用した解析を試みる。この解析によって、微動、重力両探査法を単独で行うことに比べ、地盤構造をより詳細に解明することができるものと期待される。

6章では、本研究で得られた成果を要約するとともに、今後の課題について整理する。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鳥取県震災調査報告，建築雑誌，2，3月合併号，1944.
- 2) 川瀬博，林康裕：兵庫県南部地震時の神戸市中央区での基盤波の逆算とそれに基づく強震動シミュレーション，日本建築学会構造系論文集，480，pp67-76，1996.
- 3) 川瀬博，松島信一：「エッジ効果」に着目した単純な二次元盆地構造の三次元波動場解析－兵庫県南部地震の際の震災帯の成因－，地震，第2輯，50，pp431-449，1998.
- 4) 源栄正人，永野正行：深部不整形地下構造を考慮した神戸市の地震動の増幅特性解析－兵庫県南部地震における「震災の帯」の解釈－，日本建築学会構造系論文集，488，pp39-48，1996.
- 5) 嶋悦三，柳沢馬住，工藤一嘉，吉井敏尅，一ノ瀬洋一，瀬尾和大，山崎謙介，大保直人，山本喜敏，小口雄康，長能正武：東京の基盤構造，第1回，第2回夢の島爆破による地下深部探査，東京大学地震研究所彙報，51，pp1-11，1976.
- 6) Aki, K: Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst., 35, pp415-456, 1957.
- 7) Capon, J.: High-resolution frequency - wavenumber spectrum analysis, Proc. IEEE, 57, pp1408-1418, 1969.
- 8) 岡田廣，松島健，森本武男，笹谷努：広域・深層地盤調査のための長周期微動探査法，物理探査，第43巻第6号，pp402-417，1990.
- 9) 山中浩明，古屋伸二，野澤貴，佐々木透，高井剛：関東平野におけるやや長周期微動のアレイ観測－東京都江東地区におけるS波速度構造の推定－，日本建築学会構造系論文集，第478号，pp99-105，1995.
- 10) 宮腰研，岡田広，笹谷努，森本武男，凌甦群，齋藤誠治：小田原市におけるESG Blind

Prediction Test Site の地下構造—微動探査法による推定—, 地震第 2 輯第 47 卷 pp273-285, 1994.

- 11) Matsushima, T. and Okada, H. : Determinant of Deep Geological Structures under Urban Areas Using Long-Period Microtremors, *Butsuri-tansa*, Vol43-1, pp21-23, 1990.
- 12) 松岡達郎, 梅沢夏実, 卷島秀男 : 地下構造推定のための空間自己相関法の適用性に関する検討, *物理探査*, 第 49 巻第 1 号, pp26-41, 1996.
- 13) 野越三雄, 五十嵐亨 : 微動の振幅特性(その 2), *地震第 2 輯*第 24 巻, pp26-40, 1971.
- 14) 塩野計司・太田裕・工藤一嘉 ; やや長周期の微動観測と地震工学への適用(—微動に含まれる Rayleigh 波成分—, *地震第 2 輯*第 32 巻, pp115-124, 1978.
- 15) 中村豊, 上野真 : 地表面振動の上下成分と水平成分を利用した表層地盤特性推定の試み, 第 7 回日本地震工学シンポジウム講演集, pp265-270, 1986.
- 16) Lachet, C. and Bard, P. Y. : Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique, *J. Phys. Earth*, 42, pp377-397, 1994.
- 17) 時松孝次, 宮寺泰生 : 短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係, *日本建築学会構造系論文報告集*, 第 439 号, pp81-87, 1992.
- 18) 大町達夫, 紺野克昭, 遠藤達哉, 年縄巧 : 常時微動の水平動と上下動のスペクトル比を用いる地盤周期推定方法の改良と適用, *土木学会論文集*, No.489, pp251-260, 1994.
- 19) 若松邦夫, 安井 謙 : 短周期微動の水平動上下スペクトル比による地盤増幅特性評価の可能性に関する研究, *日本建築学会構造系論文報告集*, 第 471 号, pp61-70, 1994.
- 20) 石田寛, 野澤貴, 古屋伸二, 高井剛, 加藤研一, 丹羽正徳 : 神戸市街地直下における基盤岩深度分布の推定—やや長周期微動の水平/上下スペクトル比に基づく評価—, *日本建築学会構造系論文報告集*, 第 785 号, pp67-72, 1996.
- 21) 時松孝次, 新井洋, 浅香美治 : 微動観測から推定した神戸市住吉地区の深部 S 波速度構造と地震動特性, *日本建築学会構造系論文報告集*, 第 491 号, pp37-45, 1997.
- 22) Rikitake, T., Tajima, H., Izutuya, D., Hagiwara, Y., Kawada, K. and Sasai, Y. : Gravimetric and Geomagnetic Studies of Onikobe area, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 43, pp241-267, 1965.
- 23) Komazawa, M., *Gravimetric Analysis of Volcano and its Interpretation*, *J. Geod. Soc. Japan*, Vol.41-1, pp17-45, 1995.
- 24) 瀬谷清 : 重力解析による新解析法(移動平均法)—第 1 報, *物理探査*, 12, pp65-73, 1959a.
- 25) 瀬谷清 : 重力解析による新解析法(移動平均法)—第 2 報, *物理探査*, 12, pp65-73, 1959b.
- 26) 駒澤正夫 : 北鹿地域の定量重力解析について, *物理探査*, 第 37 巻, 第 3 号, pp19-30, 1984.



- 27) Talwani, M., Wozel, J. and Landisman. M. : Rapid Computation for Two Dimensional Bodies with Application to Mendocino Submarine Fracture Zone, *J. Geophysical Res.*, 64, pp49-59, 1959.
- 28) 例えば, 日本地熱資源開発促進センター(財) : 地熱開発基礎調査報告書 No.10 鹿野・松崎そのII, pp7-21, 1977.
- 29) 菊地真市 : 重力探査による浅部地下構造の解析, *物理探査*, 第 35 卷, 第 6 号, pp1-12, 1982.
- 30) 駒澤正夫, 長谷川功 : 関東地方の重力基盤に見える断裂構造, *地質学論集*, 第 31 号, pp57-74, 1988.
- 31) 駒澤正夫, 太田陽一, 渋谷昭栄, 熊井基, 村上稔 : 大阪湾の海底重力調査とその構造, *物理探査*, 第 49 卷第 6 号, pp459-473, 1996.
- 32) 牧野雅彦 : 対数関数を用いた二次元重力解析の改良 : 神戸地域への適用, *物理探査*, 第 50 卷, 第 2 号, pp123-131, 1997.
- 33) 赤松純平, 慈道充, 駒澤正夫, 西村敬一, 斉藤秀雄, 中村佳重郎, 尾上謙介, 志知龍一 : 兵庫県南部地震による地震動と基盤構造-甲陽断層周辺について, *地質学論集*, 51, pp20-36, 1998.
- 34) Akamatsu, J., Nishimura, K. and Komazawa, M. : Microzonation of a sedimentary region based on comparative analysis of microseisms and gravity anomaly, *Proceedings of the fifth international conference on seismic zonation*, II, 933-940, 1995.
- 35) 例えば, 赤木三郎 : 鳥取平野の形成過程, *地質学論集*, 第 7 号, pp125-135, 1972, など.
- 36) 例えば, 中川一郎, 東敏博, 竹本修三 : 鳥取温泉保全調査-重力及び電気探査-報告書, pp3-14, 1993.
- 37) 野口竜也, 西田良平, 白神巖 : 鳥取市における常時微動を用いた地下構造の推定, *地球惑星科学関連学会講演予稿集*, 1998.
- 38) 荒井猛, 西田良平, 野口竜也, 吉川大智 : 微動観測による鳥取平野の地下構造推定, 第 53 回土木学会中国支部研究発表会概要集, I - 47, 2001.
- 39) 野口竜也, 西田良平 : 微動アレイ観測による鳥取市の地下構造推定, *物理探査学会学術講演会講演論文集*, pp278-281, pp93-94, 2001.
- 40) 宗藤航, 西田良平, 中村博昭, 上田哲也, 西山浩史, 野口竜也 : 鳥取平野における重力測定による地下構造解析, 第 53 回土木学会中国支部研究発表会概要集, I - 48, pp95-96, 2001.

## 第2章 対象地域の概要

### 2.1 鳥取平野の地形及び地質<sup>1)2)</sup>

鳥取平野の地形は海岸沿いに発達する砂丘地域、平野の中心部を占めるデルタ地域、南部の扇状地、谷底平野に分けられる。標高約10m以下の低地面上には自然堤防、旧河道、扇状地、氾濫平野などが発達している。中央部を南方に流れる千代川は、中国山地に源を発し、佐治川、八東川、袋川、野坂川などの支流と合流して日本海に注いでいる。平野の北部には、海岸砂丘が南北に2km、東西に16kmにわたり細長く帯状に分布している。旧河道は、千代川左岸では土地改良などによる改変が進み整地されている。鳥取市街地は、久松山がせり出している。

鳥取平野の表層地質(図2-1<sup>1)</sup>、図2-2<sup>3)</sup>)は第四紀層、その基盤岩として新第三紀、中生代火山岩類、花崗岩の層で構成されていると考えられる(表2-1<sup>1)</sup>、表2-2<sup>1)</sup>)。第四紀層には更新統と完新統があり、平野の周辺にみられる段丘堆積物、砂丘などである。平野の堆積物は更新統と、それを不整合に覆う沖積層である。平野の表層には河成堆積物がある。中生代火山岩類(Mv3)は流紋岩質溶岩、凝灰岩、火砕岩などであり地表では平野の南西域や久松山塊の南半分分布する。花崗岩(Gr1・Gr3)は湖山池の南縁、久松山塊の主部、久松山から北西へ伸びる山稜に分布する。その構成は黒雲母花崗岩および文象質花崗岩で、石英と淡紅色または白濁した長石からなる。新第三紀層は、火砕岩や堆積岩を含む鳥取層群に分類される。東域には布石英安山岩および安山岩火砕岩を主体とする鳥取層群上部層の荒金火砕岩層(Tu)が局部的にみられる。湖山池南縁及び平野の南西域には安山岩、玄武岩の凝灰角礫岩ないし凝灰岩からなる鳥取層群下部層の河原火砕岩(T12)がみられる。平野の南域には鳥取層群上部層の円通寺礫岩砂岩(Tm2)、その層と接するように南東域には普含寺泥岩層(Tm3)が分布する。鮮新世火山岩類は、湖山池の西縁に安山岩の火砕岩と玄武岩の溶岩流を主体とする凝灰角礫岩(Pv2)が分布する。久松山塊の東域には淵見閃緑岩(Df)が分布する(図2-1)。

Matsumoto<sup>3)</sup>によれば、鳥取平野南域及び東域の山地を形成する新第三系は最深部で1000mに達するとの報告がある。また、新第三紀上部層の普含寺泥岩層(Tm3)及び円通寺礫岩砂岩層(Tm2)が平野の東縁から東、南東方向に約10kmの範囲に分布、平野の西縁では新第三紀下部層の河原火砕岩(T12)が分布している<sup>3)</sup>(図2-2)。これら地質的な観点から、鳥取平野の形成は古第三紀以前の地殻変動等により陥没盆地が形成した後、新第三紀及び第四紀の地層が埋積したものと考えられる。

鳥取平野の周辺に存在する断層は1943年の鳥取地震に伴う吉岡・鹿野の両断層がある。吉岡断層は吉岡温泉からほぼ東方に伸び、鳥取平野の西縁で不明瞭になる。久松山を構成する基盤の地質は鳥取平野西縁の地質とよく対応することから、鳥取平野の地下にも広がるものと考えられる。また、急斜する久松山の山体は鳥取平野との境界を通る断層が地下に潜り込んでいるものと考えられる。

## 2.2 既存の地盤データ

鳥取平野では堆積地盤のボーリングデータが数多く存在する。そのデータをまとめたものとして、山陰臨海平野地盤図<sup>95)</sup>がある。また、赤木によって更新統(洪積層)上限の等深度図<sup>1)</sup>(図 2-3)、新第三紀上限図<sup>5)</sup>(図 2-4)が示されている。ただし、これらのデータの大半は堆積層に関する地盤情報が主である。唯一基盤岩構造を知るデータとしては、鳥取温泉のウェルログによる地下 100m~300m の深層ボーリング<sup>67)</sup>があるが、これは温泉調査を目的としているため、速度構造、密度構造に関する情報は含まれていない。地盤の弾性波速度構造を直接測定した記録としては、PS 検層や弾性波速度調査<sup>89)</sup>の結果がある(表 2-3, 表 2-4)。基盤岩層の密度については、鹿野・松崎地域で 49 地点の岩石採取による密度測定が実施されている<sup>10)</sup>(表 2-5)。

これら既存の地盤データをもとにすれば、鳥取平野の大略的な地盤構造は次のように推測できる。堆積層の S 波速度は表 2-3 をもとに、完新統粘土層(Umc・Uc)及び砂層(Ums・Us)は  $V_s=100\sim 150\text{m/s}$ 、更新統粘土層(Lc)及び砂層(Ls)は  $V_s=200\text{m/s}\sim 300\text{m/s}$ 、更新統砂礫層(Lmg・Lg)は  $V_s=400\sim 500\text{m/s}$ 、P 波速度は完新統が  $V_p=800\text{m/s}\sim 1000\text{m/s}$ 、更新統が  $V_p=1500\text{m/s}\sim 1800\text{m/s}$  であると予測される。岩盤層の弾性波速度は次のようになる。岩盤層は地質的にみると 2.1 でも述べたように、新第三紀層、古第三紀・中世代火山岩類の層序となっているものと考えられる。新第三紀層は古い地層ほど(深部の地層ほど)圧密が進み固結度が大きくなるものと考えられる。地下 300m まで泥岩・砂岩で構成されるサイトでのサスペンション PS 検層の結果<sup>11)</sup>(図 2-5)を参考にする。表 2-2 より、鳥取層群には泥岩、砂岩が相互となる層序がみられ、このサイトと似通った地質構成である。図 2-5 の速度値の構成をみると、(a)泥岩主体の上層は  $V_s=500\text{m/s}\sim 700\text{m/s}$ 、 $V_p=1500\text{m/s}\sim 1800\text{m/s}$ 、(b)砂岩主体の下層は  $V_s=700\text{m/s}\sim 1000\text{m/s}$ 、 $V_p=1800\text{m/s}\sim 2400\text{m/s}$  の範囲である。ここで、鳥取層群の地質層序との関係から、(a)の層が(荒金火砕岩層を含めて)普含寺泥岩層、(b)の層が円通寺礫岩砂岩に対応すると想定される。表 2-4 によると第 4 層目は風化の少ない固結した岩盤(中硬岩)が存在しており  $V_p=2900\text{m/s}$  である。P 波速度と S 波速度の換算式<sup>13)</sup>

$$V_p = 1.11V_s + 1290(m/s) \quad (2-1)$$

を用いれば、S 波速度は 1500m/s 程度と推測できる。ここでは、この層が(a)(b)層の下層に存在すると考え、弾性波速度においては新第三紀層が 3 層に区分されるものと想定した。花崗岩あるいは中生代火山岩類層は、地震動予測における地震基盤の設定値<sup>12)</sup>の範囲内であると考えれば、 $V_s=2500\text{m/s}\sim 3500\text{m/s}$  であると予想される。

堆積層の密度は先験的な値<sup>14)</sup>をもとに、完新統及び更新統の粘土層・砂層が  $1.5\text{g/cm}^3\sim 1.8\text{g/cm}^3$ 、更新統の砂礫層が  $1.9\text{g/cm}^3\sim 2.0\text{g/cm}^3$  であると考えられる。岩盤層の密度については、表 2-5 を参照すると、新第三紀 18 サンプルの乾燥密度の平均は  $2.50\text{g/cm}^3$ 、古第三紀~中生代後期は  $2.61\text{g/cm}^3$  であり、新第三紀層の岩石は花崗岩・中生代火山岩

と比べ約  $0.1\text{g/cm}^3$  小さい。また、鳥取層群の上部層(三徳層・小鹿層)は  $2.39\text{g/cm}^3$  で、花崗岩・中世代火山岩と比べ約  $0.2\text{g/cm}^3$  小さい。これらの結果を参考にすると、新第三紀層の密度は  $2.3\text{g/cm}^3\sim 2.5\text{g/cm}^3$ 、花崗岩や中生代火山岩類が  $2.5\text{g/cm}^3\sim 2.6\text{g/cm}^3$  程度であると推測される。これらの結果をまとめ、地質層序に対する弾性波速度および密度の対応表を表 2-6 に示す。後述する 3 章及び 4 章の地盤構造の推定では、この表をもとに地盤モデルのパラメータを決定する。

#### 参考文献

- 1) 豊島吉則, 赤木三郎, 吉谷昭彦, 岡田昭明, 道上正規, 檜谷治, 宮腰潤一郎, 西田良平, 塩崎一郎: 鳥取温泉調査報告書, pp5-14, 1994.
- 2) 赤木三郎, 豊島吉則, 星見清晴, 谷村美弥子: 湖山池の地質環境と地史的変遷, 地質学論集, 39, pp103-116, 1993.
- 3) 中国四国農政局計画部資源課編集(赤木三郎, 岡田昭明調査): 鳥取県水理地質図, 1981.
- 4) 中国地方基礎地盤研究会編: 山陰臨海平野地盤図'95, 1995.
- 5) 赤木三郎: 鳥取平野の形成過程, 地質学論集, 第7号, pp125-135, 1972.
- 6) 杉山隆二: 山陰の温泉の地質(その4), 温泉工学会誌, 3-1, pp30-39, 1965.
- 7) 鳥取県: 温泉保全調査報告書(9)-鳥取温泉-, pp55-72, 1999.
- 8) 応用地質(株): 例えば, LNG サテライト設備建設工事地盤調査報告書, 1996 など.
- 9) 川崎地質(株): 鳥取本局~鳥取市外局間とう道計画工事(土木)土質調査報告書, pp65-78, 1979.
- 10) 日本地熱資源開発促進センター(財): 地熱開発基礎調査報告書 No.10 鹿野, 松崎そのII, pp7-21, 1977.
- 11) 日本材料学会: 岩の力学, 第III編岩盤工学への応用, 丸善, pp512, 1993.
- 12) 土木学会編: 動的解析と耐震設計第2巻, pp165-167. 技報堂出版, 1989.
- 13) 狐崎長琅, 後藤典俊, 小林芳正, 井川猛, 堀家正則, 斉藤徳美, 黒田徹, 山根修一, 奥住宏一: 地震動予測のための深層地盤 P・S 波速度の推定, 自然災害科学, 9-3, pp4-10, 1990.
- 14) 物理探査学会: “土と岩”の弾性波速度-測定と利用-, pp84, 1990.

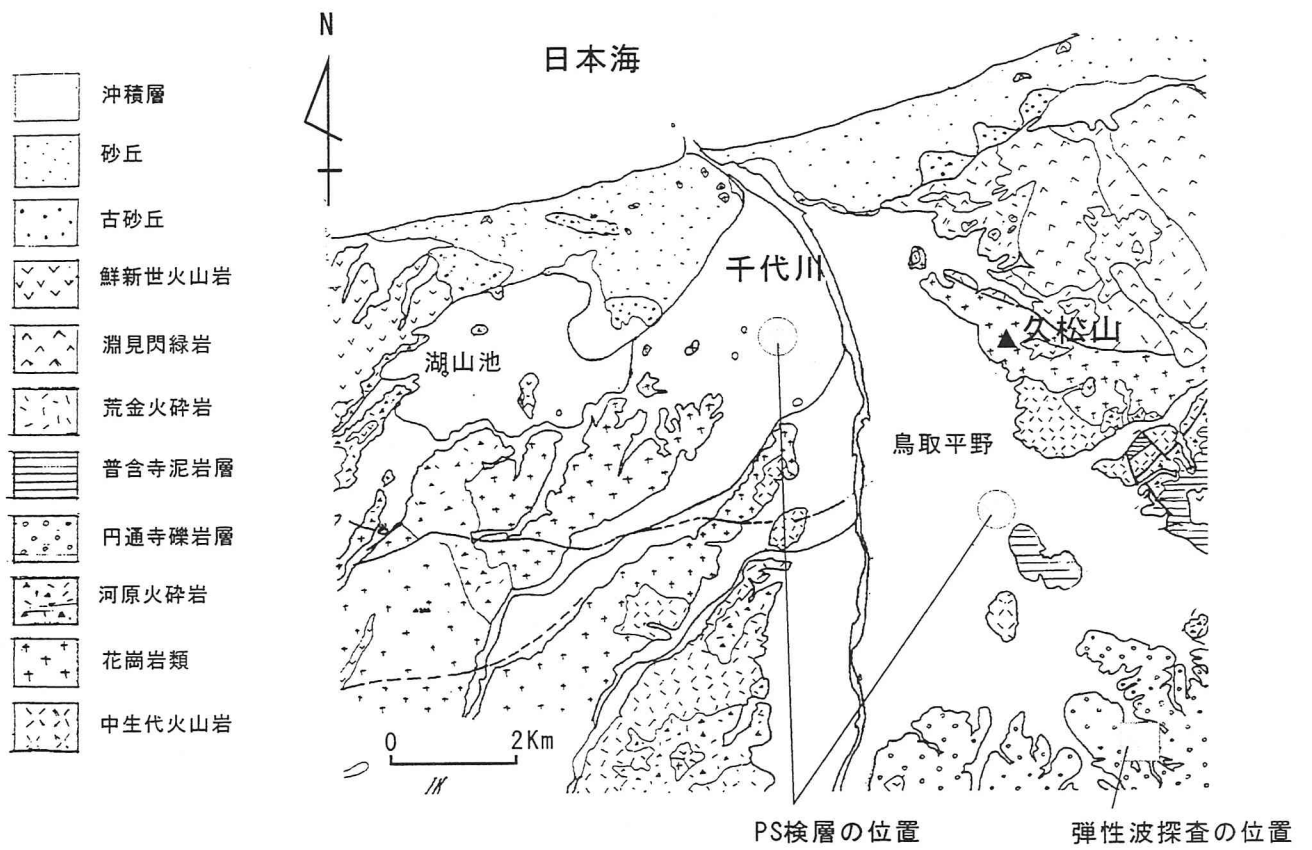


図2-1 鳥取平野周辺域の表層地質図<sup>2)</sup>

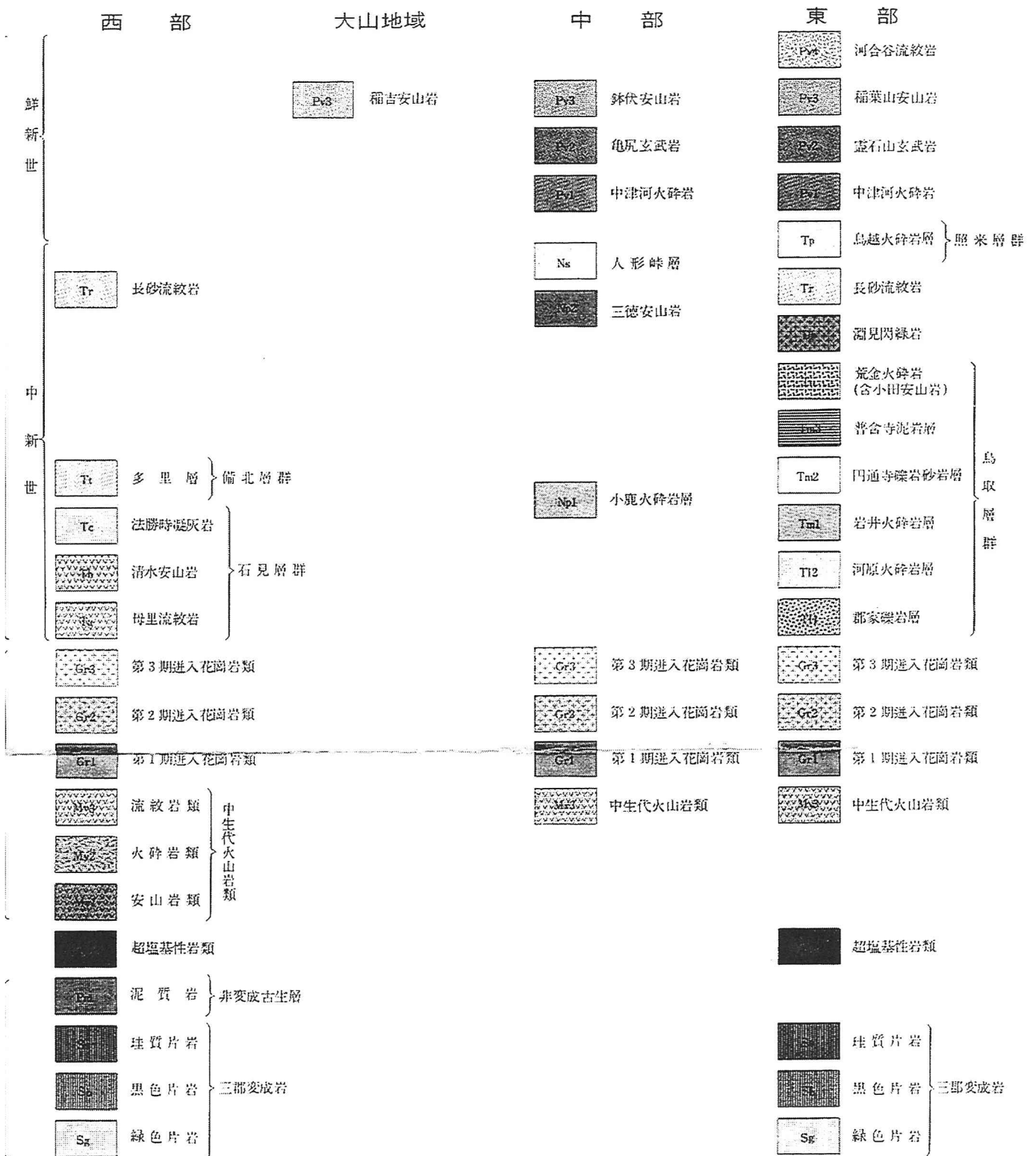


図2-2(1) 鳥取県東部域の表層地質図<sup>4)</sup> (凡例)

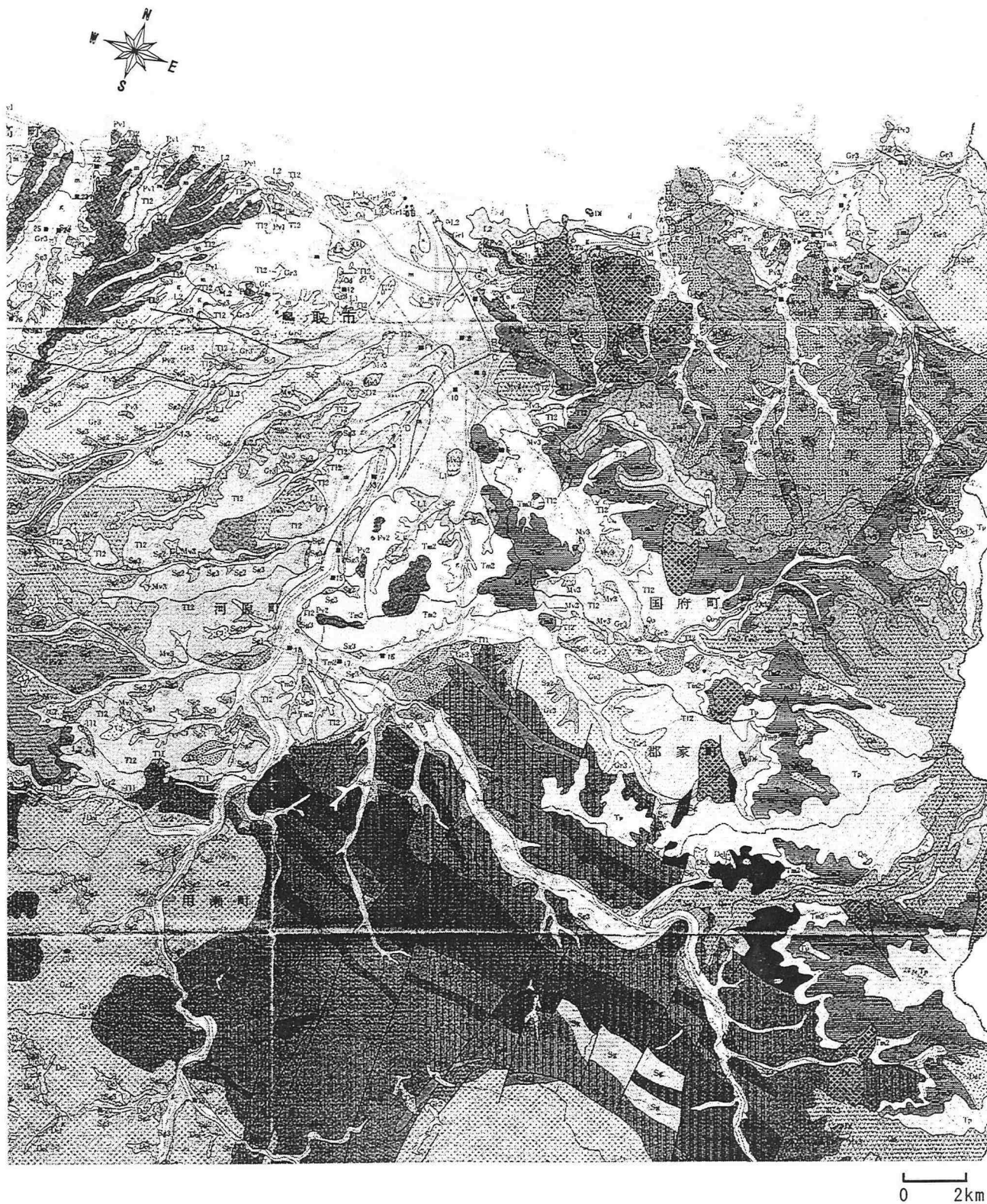


図2-2(2) 鳥取県東部域の表層地質図<sup>3)</sup>

表2-1 鳥取平野の第四紀の地質層序

| 時代          | 層別名 | 層序区分  | 土質名                | N値          |
|-------------|-----|-------|--------------------|-------------|
| 完<br>新<br>世 | 第1層 | 表土    | 埋土・盛土              |             |
|             | 第2層 | 中部粘土層 | 粘土・腐植土             | 0-5         |
|             | 第3層 | 下部砂層  | 砂・シルト質砂            | 3-20        |
|             | 第4層 | 下部粘土層 | 粘土・シルト<br>粘土・砂混り粘土 | 1-8<br>2-18 |
| 更<br>新<br>世 | 第5層 | 上部砂礫層 | 砂礫                 |             |
|             | 第6層 | 下部砂礫層 | 粘土混り砂礫             |             |
|             | 第7層 | 最下部層  | 砂礫層・粘土層            |             |

表2-2 鳥取平野の中生代白亜紀までの地質層序

| 地質時代        | 地質系統        | 地 質 | 備 考  |                 |
|-------------|-------------|-----|--|-----------------|
| 新<br>生<br>代 | 第<br>四<br>紀 | 完新統 | 新砂丘砂層<br>河成堆積物、瀉湖成堆積物<br>沖積層、崖錘              | 鳥取・吉岡温泉<br>縄文海進 |
|             |             | 更新統 | 火山灰層<br>古砂丘砂層<br>段丘層 湯山砂層<br>津ノ井粘土層          | 大山火山活動          |
|             | 新第三紀        | 中新統 | 鳥取<br>荒金火砕岩層<br>普含寺泥岩層<br>円通寺礫岩砂岩層<br>河原火砕岩層 | 古日本海時代          |
|             | 古第三紀        |     | 吉岡花崗岩<br>鳥取花崗岩                               |                 |
| 中生代         | 白亜紀         |     | 中生代火山岩類                                      |                 |



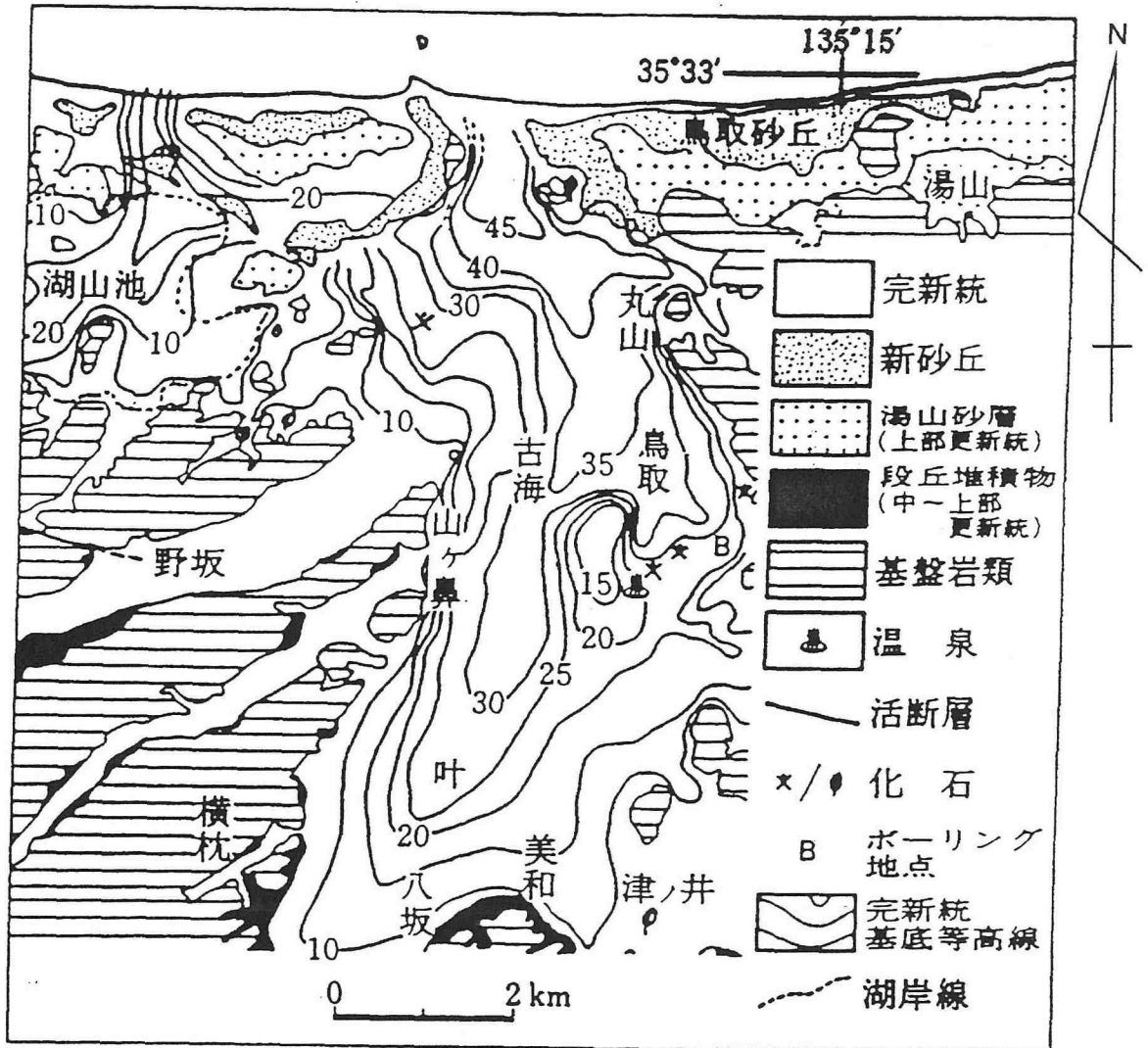


図2-3 更新統上限の等深度線図<sup>5)</sup>

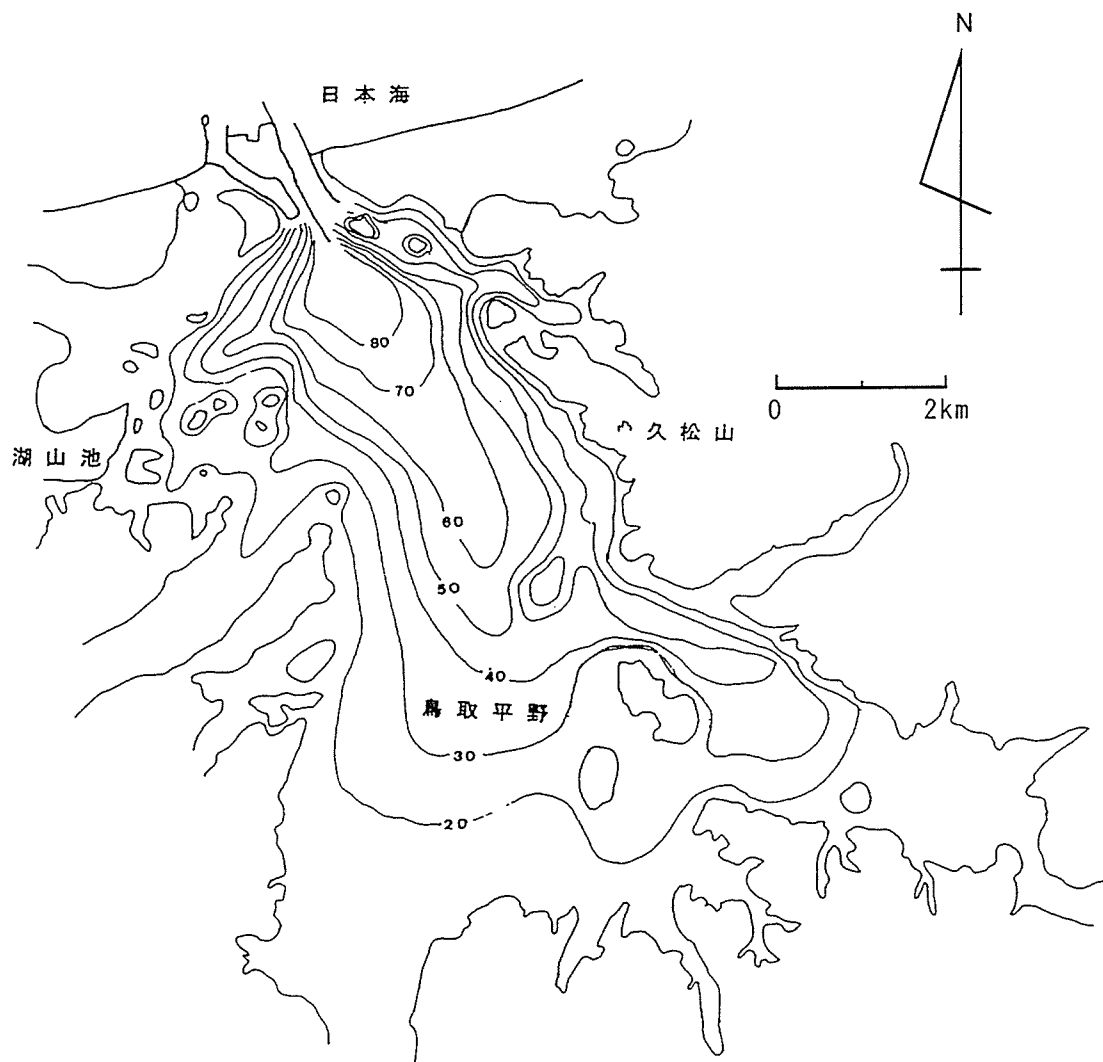


図2-4 新第三紀層上限の等深度線図<sup>1)</sup>

表2-3 PS検層<sup>8)</sup>の結果

No.1

| Depth (m) | 地質        | Vp (m/s) |
|-----------|-----------|----------|
| 0~6       | 玉石混じり砂礫   | 1000     |
| 6~10      | 粘土・腐葉土・細砂 |          |
| 10~11     | 玉石混じり砂礫   |          |
| 11~21     | 礫混じり砂質シルト | 2000     |
| 21~24     | 玉石混じり砂礫   |          |

No.2

| Depth (m) | 地質         | Vp (m/s) |
|-----------|------------|----------|
| 0~4       | 玉石混じり砂礫・中砂 | 800      |
| 4~5       | 粘土         |          |
| 5~7       | 粘土・細砂      | 1800     |
| 7~13      | 砂礫         |          |
| 13~21     | 粘土混じり砂礫    |          |

No.3

| Depth (m) | 地質      | Vp (m/s) |
|-----------|---------|----------|
| 0~2       | 盛土      | 900      |
| 2~7       | 粘土      | 1500     |
| 7~13      | シルト混じり砂 |          |
| 13~18     | 粘土      | 1800     |
| 18~30     | 砂礫      |          |

No.4

| Depth (m) | 地質     | Vp (m/s) |
|-----------|--------|----------|
| 0~6       | 粘土     | 430      |
| 6~13      | 砂      | 1000     |
| 13~26     | 粘土     |          |
| 26~36     | 砂質シルト  | 1500     |
| 36~40     | 玉混じり砂礫 | 2100     |

表2-4 弾性波速度探査<sup>8)</sup>の結果

| 区分    | 地山状況   | Vp (m/s)           | 層厚(m)    |
|-------|--|--------------------|----------|
| 土砂    | 風化が完全に進んで土砂状化した部分(岩の組織見られず)崩積土で、粘土、砂、礫から構成される。固結度低く、ハンマーで容易に崩せる程度の軟らかさ。礫は風化するも原形をとどめる。               | 350~400<br>(第1速度層) | 1.0~3.0  |
| 軟岩 I  | 風化が著しく進み土砂状に近いが、岩の組織を明瞭に残し、固結度は比較的高い。ハンマーのやや強い打撃で崩せる程度の硬さ。礫岩では礫はかなり硬いが、マトリックスはやや軟質。シルト岩はスレーキングがしやすい。 | 900<br>(第2速度層)     | 4.0~11.5 |
| 軟岩 II | 風化がかなり進んでいるが、固結度高く、ハンマーでかなり強打しないと崩せない程度の硬さ。砂岩では風化しても硬質で中硬岩に近い。礫岩ではマトリックスもよく締まっている。シルト岩はややスレーキングしやすい。 | 1800<br>(第3速度層)    | 3.0~12.5 |
| 中硬岩   | 風化は比較的進んでいるが、掘削による弛みの影響ほとんど受けず、ハンマーの強打でもすぐには割れない程度の硬さ。新鮮な部分は硬岩に近く、シルト岩もスレーキングは少なく、安定している。            | 2900<br>(第4速度層)    | -        |

表2-5 岩石採取による密度測定結果<sup>10)</sup>

| 時代   | 地質       | 岩石                   | 個数   | 平均密度(g/cm <sup>3</sup> ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |
|------|----------|----------------------|------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|---|------|
|      |          |                      |      | 乾燥                       |      |      | 湿潤   |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |
| 新第三紀 | 鮮新世      | 三朝層群                 | 安山岩  | 7                        | 2.53 | 2.50 | 2.59 | 2.56 | 2.53 | 2.61 |      |      |      |      |                 |   |      |
|      |          | 中新世                  | 鳥取層群 | 安山岩                      | 5    |      |      |      |      |      | 2.39 | 2.59 | 2.53 |      |                 |   |      |
|      | 流紋岩      |                      |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |
|      | 安山岩      |                      |      | 6                        | 2.56 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |
|      | 玄武岩      |                      |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |
|      | 流紋岩      |                      |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |
|      | 石英安山岩    |                      |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |
| 古第三紀 |          |                      |      |                          |      | 2.55 | 2.59 | 2.58 | 2.63 |      |      |      |      |      |                 |   |      |
|      |          |                      |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 2.61 |                 |   |      |
|      |          |                      |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 黒雲母花崗岩<br>アブライト | 7 | 2.54 |
|      |          |                      |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 角閃石黒雲母<br>花崗岩   | 2 | 2.63 |
| 花崗斑岩 | 3        | 2.55                 |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |
| 中生代  |          |                      |      |                          |      | 2.58 | 2.59 | 2.60 | 2.63 |      |      |      |      |      |                 |   |      |
|      |          |                      |      |                          |      |      |      |      |      | 閃緑岩  | 4    | 2.83 |      |      |                 |   |      |
|      |          |                      |      |                          |      |      |      |      |      | 火山岩類 | 5    | 2.52 |      |      |                 |   |      |
| 碎屑岩類 | 砂岩<br>泥岩 | 3                    | 2.68 |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |
| 古生代  | 弱変成岩     | 玄武岩<br>黒色千枚岩<br>チャート | 7    | 2.75                     | 2.75 | 2.75 |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |   |      |

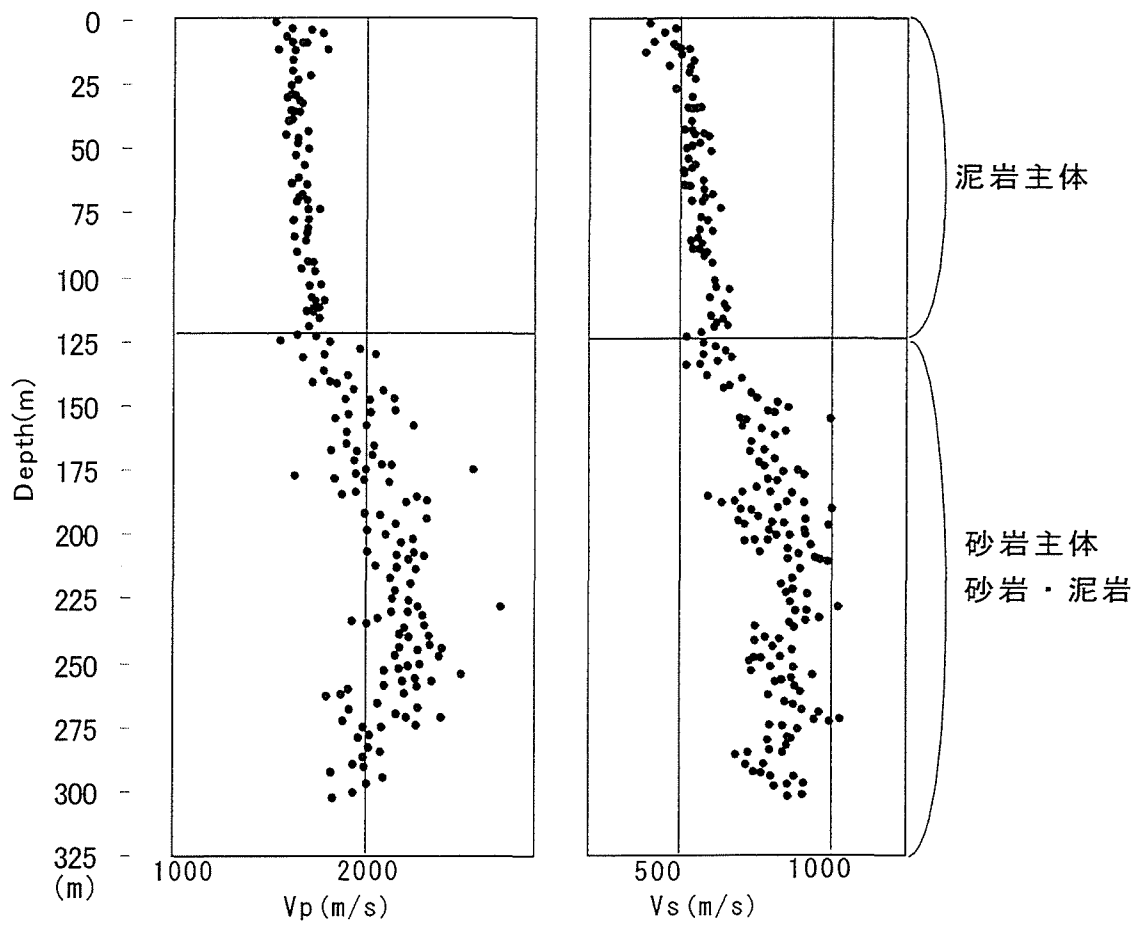


図2-5 サスペンションPS検層結果<sup>11)</sup>

表2-6 地質層序と弾性波速度・密度の対応表

| 時代・系統 |      | 地質・土質   | 固結度                     | Vp(m/s)   | Vs(m/s)   | 密度(g/cm <sup>3</sup> ) |          |         |
|-------|------|---------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|----------|---------|
| 新生代   | 第四紀  | 完新統     | 粘土・砂<br>(Umc・Uc・Ums・Us) | -         | 800~1000  | 100~150                | 1.5~1.8  |         |
|       |      | 更新統     | 粘土・砂<br>(Lc・Ls)         | -         | 1500~1800 | 200~300                |          |         |
|       |      |         | 砂礫<br>(Lg・Lmg)          | -         |           | 400~500                | 1.9~2.0  |         |
|       | 新第三紀 | 中新統     | 鳥取層群                    | 泥岩        | 小         | 1800~2100              | 500~700  | 2.3~2.5 |
|       |      |         |                         | 砂岩・礫岩     | 中         | 2200~2400              | 800~1000 |         |
|       |      |         |                         | 火砕岩       | 大         | 3000程度                 | 1500程度   |         |
| 古第三紀  |      | 花崗岩     | -                       | 4100~5200 | 2500~3500 | 2.5~2.6                |          |         |
| 中生代   | 白亜紀  | 中生代火山岩類 | -                       |           |           |                        |          |         |

### 第3章 微動探査法による推定

観測された微動には、振動源、伝播経路、観測点直下の地下構造の情報などが含まれている。微動そのものは、実体波（P波、S波）と表面波（レイリー波、ラブ波）の集まりと考えられるが、微動中には表面波が優勢であると考えられる。微動から表面波の特性を解析することにより地下構造の推定ができる。

その方法としては、SPAC法<sup>1)</sup>、周波数-波数（F-K）法<sup>2)</sup>といった、表面波の位相速度を検出し、その分散特性から地下構造を推定する方法、水平動（と上下動のスペクトル比（以下、H/Vと略称））をとり、地表での表面波の粒子軌跡として検出、その形状、ピーク周期などから地下構造を推定する方法がある。いずれの方法とも、地下構造は水平多層構造であると仮定し、S波速度構造として与えられる。

#### 3.1 解析方法

##### 3.1.1 SPAC法の基本理論<sup>3)</sup>

SPAC法はAki<sup>1)</sup>によって、微動から表面波の位相速度を検出する方法として開発された。その基本概念を述べる。

##### (1)微動のスペクトル表示

微動は非常に複雑な波動現象であり、時間  $t$  と場所つまり位置ベクトル  $\mathbf{r}(x, y)$  によって変わる現象である。また、微動は定常確率過程とみなすことができ、ある有限時間の微動記録は、その中の一つの標本関数とみなすことができる。今、ある場所  $\mathbf{r}(x, y)$  での有限時間の微動記録  $X(t, \mathbf{r})$  を、スペクトル表示すると、次のように書ける。

$$X(t, \mathbf{r}) = \iint_{-\infty}^{\infty} \exp \{i\omega t + i\mathbf{k}\mathbf{r}\} dZ(\omega, \mathbf{k}) \quad (3-1)$$

ここで、 $\omega$  は角周波数、 $\mathbf{k}$  は波数ベクトルで、その  $x$  成分は  $k_x$  で、 $y$  成分は  $k_y$  である。また  $dZ(\omega, \mathbf{k})$  は二重直交確率過程、すなわち、あらゆる  $\omega, \mathbf{k}$  について以下に示す関係が成り立つ。

##### (i) 平均値の関係

$$E[dZ(\omega, \mathbf{k})] = 0 \quad (3-2)$$

##### (ii) パワースペクトルの関係

$$E[|dZ(\omega, \mathbf{k})|^2] = dH(\omega, \mathbf{k}) \quad (3-3)$$

##### (iii) 無相関の関係

$$E[dZ(\omega, \mathbf{k}) \cdot dZ^*(\omega', \mathbf{k}')] = 0 \quad (3-4)$$

ただし、 $E$  は記録の集合平均、 $dH(\omega, \mathbf{k})^*$  は  $X(t, \mathbf{r})$  の積分スペクトル、 $*$  は複素共役を示

す。

もし、微動  $X(t, \mathbf{r})$  が連続で微分可能なスペクトル密度関数  $h(\omega, \mathbf{k})$  を持てば

$$dH(\omega, \mathbf{k}) = h(\omega, \mathbf{k}) d\omega d\mathbf{k} \quad (3-5)$$

と書ける。

## (2)SPAC 法

Aki<sup>1)</sup>は、微動は等方的に到来するものと仮定し、SPAC 法を適用しているが、Henstridge<sup>4)</sup>は微動の到来方向が必ずしも等方的でなくても SPAC 法の適用は可能であることを示した。また、SPAC 法では主に微動が表面波の基本モードで構成されていると仮定する。

ある 2 観測点 A, B での観測波形を  $X(t, \mathbf{r}_0)$ ,  $X(t, \mathbf{r}_0 + \mathbf{r})$  とすると観測点 A, B での微動波形は(2-1)式より

$$X(t, \mathbf{r}_0) = \iint \int_{-\infty}^{\infty} \exp \{i\omega t + i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}_0\} dZ(\omega, \mathbf{k}) \quad (3-6)$$

$$X(t, \mathbf{r}_0 + \mathbf{r}) = \iint \int_{-\infty}^{\infty} \exp \{i\omega t + i\mathbf{k} \cdot (\mathbf{r}_0 + \mathbf{r})\} dZ(\omega, \mathbf{k}) \quad (3-7)$$

と書ける。ここで、A, B の 2 地点間の空間自己相関関数  $S(t, \mathbf{r}_0, \mathbf{r})$  を

$$S(t, \mathbf{r}_0, \mathbf{r}) = E[X(t, \mathbf{r}_0) \cdot X(t, \mathbf{r}_0 + \mathbf{r})] \quad (3-8)$$

によって定義する。

微動が主に表面波の基本モードから構成されていると仮定すれば、その波数  $\mathbf{k}$  は角周波数  $\omega$  の一価の関数  $\mathbf{k} = \mathbf{k}(\omega)$  となる。  $\mathbf{r} = r(\cos \theta, \sin \theta)$  と  $\mathbf{k} = k(\cos \phi, \sin \phi)$  および(3-2), (3-3), (3-4)式を(3-8)式に代入すると、空間自己相関関数  $S$  は次のようになる。ただし、 $\phi$  は波の到来方向である。

$$S(r, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_0^{2\pi} \exp \{ikr \cos(\theta - \phi)\} h(\omega, \phi) d\phi \right] d\omega \quad (3-9)$$

2 地点間の距離が  $r=0$  のとき、空間自己相関関数は

$$\begin{aligned} S(0, \theta) &= \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_0^{2\pi} h(\omega, \phi) d\phi \right] d\omega \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h_0(\omega) d\omega \end{aligned} \quad (3-10)$$

となる。ただし、

$$h_0(\omega) = \int_0^{2\pi} h(\omega, \phi) d\phi \quad (3-11)$$

である。ここで  $h_0(\omega) d\omega$  は、観測場において角周波数  $\omega$  と  $\omega + d\omega$  間の成分の波が、微動  $X$  の全パワーに寄与する量を、全ての標本関数について平均したものである。これを



微動中の平均パワーと呼ぶ。

いま、観測場での微動は空間的に定常であると仮定し、半径  $r$  の円形アレイの中心観測点と円周上の方位  $\theta$  の観測点に対して、ある角周波数  $\omega$  についての空間自己相関関数  $S(\omega, r, \theta)$  の方位平均  $\tilde{S}(\omega, r)$  を求める。すなわち、(2-9)、(2-11)式より

$$\begin{aligned}\tilde{S}(\omega, r) &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} S(\omega, r, \theta) d\theta \\ &= h_0(\omega) \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp\{irk \cos(\theta - \phi)\} d\theta \\ &= h_0(\omega) \cdot J_0(kr)\end{aligned}\tag{3-13}$$

となる。  $J_0$  は第一種 0 次 Bessel 関数である。また、(2-10)式より、

$$\tilde{S}(\omega, r) = S(\omega, 0) \cdot J_0(kr)\tag{3-14}$$

と書ける。ただし、  $S(\omega, 0)$  は中心観測点の自己相関関数である。ここで、空間自己相関係数  $\rho(\omega, r)$  を

$$\rho(\omega, r) = \tilde{S}(\omega, r) / S(\omega, 0)\tag{3-15}$$

と定義すれば、(2-13)式より

$$\rho(\omega) = J_0(kr)\tag{3-16}$$

となる。なお、波数  $k$  は速度  $c$  と周波数  $f$  を用いて  $k = \omega/c = 2\pi f/c$  と書く。  $\omega = 2\pi f$ 、半径  $r$  の円形アレイにおいて周波数  $f$  の時の空間自己相関係数  $\rho(f, r)$  は

$$\rho(f, r) = J_0\left(\frac{2\pi f}{c(f)} r\right)\tag{3-17}$$

と書ける。ここで、岡田・凌<sup>5)</sup>によれば、地震計と地面とのカップリング等の地震計の設置条件や増幅器のゲインが異なる場合を考慮すると、空間自己相関係数は(2-12)式をそれぞれの観測点で得られる自己相関関数で規格化して

$$\rho(\omega, r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{S(\omega, r, \theta)}{\sqrt{S_0(\omega, 0) \cdot S_r(\omega, \theta)}} d\theta\tag{3-18}$$

となる。ここに、

$$S(\omega, r, \theta) = E \left[ |X(t, \omega, 0, \theta) X(t, \omega, r, \theta)|^2 \right]\tag{3-19}$$

$$S_0(\omega, 0) = E \left[ |X(t, \omega, 0, \theta)|^2 \right]\tag{3-20}$$

$$S_r(\omega, r) = E \left[ |X(t, \omega, r, \theta)|^2 \right]\tag{3-21}$$

で、  $X(t, \omega, 0, \theta)$ 、  $X(t, \omega, r, \theta)$  はそれぞれ中心観測点と観測点  $(r, \theta)$  で得られた微動記録である。ここで、

$$\gamma(\omega, r, \theta) = \frac{S(\omega, r, \theta)}{\sqrt{S_0(\omega, 0) \cdot S_r(\omega, \theta)}} \quad (3-22)$$

とすれば  $\gamma(\omega, r, \theta)$  は、互いに  $r$  だけ離れた 2 観測点における微動のコヒーレンスの Real Part であり、これをアレイの円周上で方向平均することにより、空間自己相関係数  $\rho(f, r)$  が得られる。

岡田・凌<sup>5)</sup>によれば、微動記録にバンドパスフィルターをかけ、周波数ごとの成分波に分けて(2-18)式から空間自己相関係数  $\rho(\omega)$  を求めている。松岡他(1996)<sup>6)</sup>は、このように時間領域で周波数ごとの  $\rho(\omega)$  を求める方法ではなく、周波数領域において同様な計算が出来るとしている。このとき(2-18)式は、中心局における複素フーリエ成分を  $X(\omega)$ 、円周上での方位  $\theta$  における複素フーリエ成分を  $Y(\omega, \theta)$  とすると

$$\rho(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\text{Real}[S_{XY}(\omega, \theta)]}{\sqrt{S_X(\omega) \cdot S_Y(\omega)}} d\theta \quad (3-23)$$

ここに、

$$S_{XY}(\omega, \theta) = \frac{T}{2\pi} E[X^*(\omega) \cdot Y(\omega, \theta)] \quad (3-24)$$

$$S_X(\omega) = \frac{T}{2\pi} E[X^*(\omega) \cdot X(\omega)] \quad (3-25)$$

$$S_Y(\omega) = \frac{T}{2\pi} E[Y^*(\omega, \theta) \cdot Y(\omega, \theta)] \quad (3-26)$$

となる。Tは観測時間、Eは平均操作、\*は複素共益を示す。ただし、 $S_{XY}(\omega, \theta)$  は2点間のクロススペクトル、 $S_X(\omega)$  および  $S_Y(\omega)$  はそれぞれ中心点および円周上のパワースペクトルである。また、(2-22)式は次式で表される。

$$\gamma(\omega, \theta) = \frac{\text{Real}[S_{XY}(\omega, \theta)]}{\sqrt{S_X(\omega) \cdot S_Y(\omega)}} \quad (3-27)$$

クロススペクトルおよびパワースペクトルの計算にFFTを用いれば、計算時間の短縮が出来る。また、分析周波数範囲や分解バンド幅の変更が容易である。

アレイ観測では、円周上に正三角形を形作って観測点があることから、周波数  $f (= \omega/2\pi)$  における空間自己相関係数  $\rho(f)$  は  $\gamma(f)$  の算術平均によって求められる。よって(2-23)式から

$$\rho(f) = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^3 \gamma(f, \theta_i) \Delta\theta_i = \sum_{i=1}^3 \gamma(f, \theta_i) / 3 \quad (3-28)$$

とすることが出来る。また、正三角形を構成することにより、地震計間隔は1つのアレイで半径と辺長の2通りとることが出来る。

こうして求められた空間自己相関係数  $\rho(f)$  より位相速度を推定する。位相速度の推定には、(2-17)式を用いて、 $\rho(f)$  の値に対応するBessel関数のアーギュメント  $x (= r \cdot 2\pi f / c$

( $f$ )を定め

$$c(f) = \frac{2\pi f}{x} r \quad (3-29)$$

により、位相速度  $c(f)$  が求められる。  $r$  は地震計間隔を示す。 この位相速度推定の流れは図 3-1 に示すように、観測で得られた  $\rho(f)$  について、周波数ごとに Bessel 関数の  $J_0(x)$  に照らし合わせ、その値に対するアーギュメント  $x$  から(2-29)式で位相速度が推定できる。

盛川ら<sup>7)</sup>は観測システムや観測要員の省力化を図るため 2sSPAC 法を提案している。 2 値点間の微動特性が各地震計周辺で一時的な人工ノイズの影響を受けず、地盤特性のみを反映していれば、必ずしも 4 点同時観測を行う必要はない。 観測システムや要員の確保が困難な場合、2 セットのシステムさえ整えば、中心点と頂点の同時観測を 3 方向分を行うことにより、上記の SPAC 法をそのまま適用して位相速度を推定できる。 本研究においても、一部この手法を採用している。

### 3.1.2 H/V の基礎概念

微動には発生源、伝播経路の影響も含まれているため、地盤情報に関する特性のみを抽出することで、地下構造の推定が可能となる。 H/V は短周期、長周期領域において、安定したピーク周期やピーク値などの特性を得ることができる<sup>8)</sup>。 また、微動はレイリー波が優勢であることを考えれば、H/V は地盤構造のみに依存した一定の形状になることが期待される。

レイリー波の粒子軌跡は楕円軌道であるため、その H/V は楕円軌道の形状を意味する。 つまり、H/V が大きければ(水平成分より上下成分が小さければ)楕円軌道は横長に扁平、逆に H/V が小さければ(水平成分より上下成分が大きければ)楕円軌道は縦長に扁平する。 大町ら<sup>9)</sup>はレイリー波の H/V の形状が地盤の速度構造インピーダンス比の違いによってどのように変化するか、図 3-2 のような 2 層の地盤モデルを仮定してレイリー波の基本モードの H/V を計算している。 その手順に習い、地盤モデルの第 2 層を  $V_s=500\text{m/s}$  とし、第 1 層を  $V_s=100\text{m/s}$  から  $100\text{m/s}$  ずつ大きくして計算を行った。 ただし、P 波速度、密度は表 3-1 に示す値を用いて計算を行っている。 表層の層厚は、1/4 波長則において固有周期が 1 秒になるように適宜変化させている。 その結果を図 3-2(2)に示す。 この図より、表層の速度が小さいほどレイリー波の H/V はピークとディップが顕著に表れることがわかる。 つまり第 1 層と第 2 層のインピーダンス比が大きくなるにつれピークが顕著になるのである。 大町ら<sup>8)</sup>によれば、H/V の変化はレイリー波の特徴である楕円軌道の粒子軌跡として、図 3-3 に示すように表現できるとしている。 その例によればまず H/V が水平な場合(タイプ 1)、粒子軌跡は全周期の範囲において一定で逆回転の楕円軌道を描く。 次にディップが明瞭に現れる場合(タイプ 2)では、短周期から長周期に

かけては、ある周期で水平動が振幅 0 になり順回転に移行し、さらに長周期では再び水平動が振幅 0 となり順回転に戻る。ピークとディップが明瞭な場合(タイプ 3)は、順回転に移行するまではタイプ 2 と同じであるが、順回転から逆回転に移行するとき上下動が振幅 0 になる。つまり、ディップの周期では水平動が振幅 0 に近づき、ピークでは上下動が振幅 0 に近くなる。

また、大町ら<sup>9)</sup>は速度インピーダンス比が大きい場合(タイプ 2, 3)では H/V のピーク周期およびディップ周期の 2 倍が S 波の卓越周期とほぼ一致することを示している。微動の水平動には表面波のラブ波も含んでいることが考えられるが、ラブ波の最大振幅を与えるエアリー相の周期も、レイリー波のピーク周期と一致することを示した。さらに、Lachet and Bard<sup>10)</sup>は数値シミュレーションによって微動 H/V を計算し、同様に速度インピーダンス比が大きい場合、S 波の伝達関数の卓越周期と H/V のピーク周期とが一致することを示した。若松ら<sup>11)</sup>は数値計算により、ラブ波を考慮に入れた場合、レイリー波の理論のみの H/V に比べ、ピーク周期、形状は変わらず、そのまま底上げした形となることを示した。大町ら<sup>9)</sup>は適用例として東京都全域の微動測定を実施し、H/V のピーク周期から地盤の固有周期求めている。表層地盤の S 波速度が既知であれば、地盤の固有周期から表層厚(基盤深度)の推定も可能である。

時松ら<sup>12)</sup>は、アレイ観測等で得られた地盤構造を初期値に与え、地盤モデルのパラメータを適宜変化させてレイリー波の H/V を算出し、観測された H/V と形状を一致させる方法により地盤構造の推定を試みている。アレイ観測に比べ観測の容易な利点を生かし、アレイ観測点間を補間することにより、断面的な地盤構造を推定した例である。しかし、H/V のピーク値に関してはバラツキが大きく、5 分間の観測で最大約 10 倍の差異が見られる場合もある。また、形状が複雑な場合(ピーク・ディップが明瞭でない、2 つのピークが現れるなど)一致させることが困難となる。そのため、H/V の形状を一致させる方法は本研究では扱わない。

ただし、H/V の周期特性はピーク値に比べ比較的安定している。よって、本研究ではピーク周期に着目し基盤深度の推定を試みることにする。

## 3.2 観測の実施

### (1)アレイ観測

アレイ観測点は TTD(鳥取大学), YNG(安長), JHK(城北高校), TTA(鳥取空港), KAR(賀露), SHB(菖蒲), GNT(源太), YNR(吉成), NIK(二階町), BAB(馬場), MTK(明德小学校), KON(興南), NEJ(西円通寺), SMD(下段), MYD(宮谷), KRC(賀露町)の 16 点である。観測点の位置を図 3-4 に示す。鳥取市の中核をなす市街地における観測点は、JHK, YNR, NIK, MTK, KON で、YNR は K-net の鳥取観測点である。また、SMD と MYD は吉岡断層をまたぐように約 2km の間隔で設定した。基本的には気象条件の良

い夜間(22:00～翌朝 5:00)静かな時間帯に観測を行っている。各観測点の観測日時については表 3-2 に示す。地震計の設置場所は安定したアスファルト舗装された道路上とし、ダンボール等で地震計を囲うなど防風対策を施している。

観測システムは、上下動の高感度電磁式速度型地震計、直流アンプ、デジタルデータレコーダのセットである。図 3-5 にシステムの構成図を、表 3-2 に利用した観測機器の詳細を示す。解析で SPAC 法を適用するため、地震計は中心点に 1 台、円周上に正三角形となるよう 3 台配置する。以後、システム構成の違いから、アレイ半径 3m～70m を S アレイ、125m～500m を L アレイと呼ぶことにする。用いた地震計の固有周期は S アレイで 1s、L アレイで 8s である。観測の概要および各種設定を表 3-2 に示す。S アレイでは、ケーブルを利用して 1 台のレコーダに記録させる一局集中方式を採用した。L アレイでは、地震計ごとにレコーダ、アンプ等がセットになった独立方式を採用、GPS のスローコードを同時に記録し、データ処理で時刻補正を行っている。その精度はサンプリング時間以内である。観測時間は一アレイにつき S アレイ 15 分、L アレイ 40 分を基本として、状況に応じて延長している。

JHK, BAB, NEJ の 125m 及び 250m アレイは、2 台の地震計を利用した観測を実施している。これは、中心点と正三角形の頂点の一点を同時観測し、3 つの頂点を移動観測する方式である。

## (2)単点観測

単点観測点は鳥取平野を高密度にカバーするよう 500m メッシュの格子点上を基本として設定し、268 点とした。鳥取市街地中心部(東西 2km×南北 4km)の範囲ではより高密度に 250m メッシュで 132 点とした(図 3-4)。また、微動の再現性および地盤の増幅率の関係を調査するために、基盤露頭点(県立博物館)とアレイ観測点の中心点の 2 点同時観測も実施している。

観測のシステムは、地震計は 3 成分一体型の高感度電磁式速度型地震計で、直流アンプ、デジタルデータレコーダのセットで、直流アンプ、データレコーダは S アレイの観測システムと同じである。システム構成図と実施模式図を図 3-6 に示す。観測時間は交通状況などをみて 1 点につき 5 分～10 分とした。観測の際は道路上での観測が大半を占めるため、道路の使用許可を得て実施している。

## 3.3 速度構造の推定

### 3.3.1 観測記録のデータ処理

#### (1)アレイ観測記録

アレイ観測記録は自動車の通過などによる人工ノイズの入っていない静かな区間を目視により選定した。

選定する区間長は S 及び L アレイで 40.96 秒ないし 81.92 秒，S アレイで 500Hz サンプルングの場合は 16.384 秒とし，1 つのアレイ半径ごとに 10～20 区間とした．各区間のスペクトルを平均し空間自己相関係数を求め，SPAC 法により各周波数における位相速度の分散曲線を得た．2 点同時観測記録は 3 方向個別に区間を選定し，各方向の空間自己相関係数を平均して，あとは 4 点同時記録と同様，SPAC 法により位相速度を求めている．なお，平滑化には S アレイで 0.3Hz，L アレイで 0.1Hz の Parzen ウィンドウを用いた．

KAR のアレイ半径 250m における速度波形記録の一例(図 3-7)，平均パワースペクトル(図 3-8)，全選定区間を重ねた空間自己相関係数(図 3-9)，各アレイ半径の位相速度分散曲線(図 3-10)を示す．観測値(プロット)と最終地盤モデルで得られた理論曲線(実線)を重ねて示している．なお，全観測点での位相速度の分散曲線を付録に示す(付録図 1)．

図 3-9 の平均パワースペクトルの例をみると，2.5Hz 付近で最大となり，1Hz 付近でパワーが急激に落ち込む．これはどの観測点でも共通してみられる特性である．また，1Hz～0.3Hz 付近まではほぼ一致しており，空間的な定常性が確認できる．全観測点の大アレイによるデータも概ね同様な一致がみられる(付録図 1)．図 3-8 の空間自己相関係数は選定区間すべてを重ねて示しているが，4 点のパワースペクトルが一致する 0.3Hz～1Hz でのバラツキは少ないことから，この周波数範囲では時間的にも定常である確認できる．これは同観測点の別のアレイ半径，および他の観測点でもパワースペクトルが揃う周波数範囲では空間自己相関係数のばらつきが少なく，時間的な定常性が保たれている．よって，今回の観測データは十分良好なものであるといえる．

微動に含まれるレイリー波は一般的に基本モードが卓越すると考えられる<sup>1)</sup>．よって，微動観測記録からはレイリー波基本モードの位相速度が得られるものと仮定する．レイリー波基本モードの理論分散曲線と各観測点の位相速度分散曲線が最も近くなるように地盤構造をモデリングする方法，すなわち順解析(フォワード)によって地盤構造の決定を行った．レイリー波理論分散曲線の計算には，斎藤<sup>13)</sup>による DISPER80 FRAT-VER.1 を用いた．ただし，このプログラムでは，アレイ直下の地下構造を非減衰の完全弾性体で等方的な成層構造，構造中には液体層がないことを条件とする．観測点によって L アレイの位相速度が隣り合うアレイ半径と連続しない場合がある．その場合は S アレイとの連続性が良い方を採用している．地盤構造モデリングの詳細は 3.3.2 で述べる．

## (2) 単点観測記録

単点観測の 3 成分の微動記録については，アレイ観測記録と同様に人工ノイズの少ない 20.48 秒もしくは 40.96 秒の区間を 3～6 区間選定した．この選定した区間の平均フーリエスペクトルについて水平動と上下動スペクトル比 (H/V) とした．なお，水平動

については相乗平均で合成している。スペクトルの平滑化には 0.3Hz Parzen ウィンドウを用いた。アレイ観測点の中心で得られた H/V を付録に示す(付録図 2)。矢印はピークとして判断した位置を示している。H/V からピーク周期を読み取り(付録表 1)、基盤深度の推定に利用する。基盤深度推定の詳細は 3.3.3 で述べる。

### 3.3.2 1次元地盤構造モデルの推定

#### (1) 地盤構造のモデリング

地盤構造の推定には、まず初期モデルとして地盤図<sup>14)</sup>および2章で既存のデータをまとめた表 2-6 をもとに層数、密度、 $V_p$ 、 $V_s$  を決定し、層厚のみを変化させてモデリングしていく手順にしたがった。初期モデルの決定について詳細を以下に示す。

岩盤層については表 2-6 を基に、新第三紀層の固結度の度合いが①小さい地層、②中程度の地層、③大きい地層、古第三紀以前の④花崗岩あるいは中生代火山岩類層の4層を想定した。① $V_s=700\text{m/s}$ 、② $V_s=1000\text{m/s}$ 、③ $V_s=1500\text{m/s}$  とした。④の層については、ほとんどの地点で位相速度の最大値が  $3000\text{m/s}$  を超えていることから(付録図 1 を参照)、表 2-6 に示した範囲内(花崗岩・中生代火山岩類)で  $V_s=3000\text{m/s}$  とおいた。P 波速度は、S 波速度との換算式<sup>15)</sup>((2-1)式)から求めている。また、密度は表 3-3 に示す通りに設定している。これらのパラメータは全観測点で共通の設定とした。

堆積層については、地盤図<sup>14)</sup>より地質層序の断面が示されているため、アレイ観測点近傍の断面図(図 3-12)と PS 検層(表 2-3)<sup>16)</sup>、板たたき法による速度検層<sup>17)</sup>の結果、表 2-6 を参考にパラメータを設定した。ただし、微動の位相速度(付録図 1)とのフィッティングの都合で、速度値を決めている地点もある。堆積層の構成から S 波速度の決定について、以下のグループに分けて説明する。なお、P 波速度は上述した S 波速度との換算式から、密度は表 3-3 に示す通りとした。

#### (a) JHK・KRC・KAR・YNG・NIK・MTK・YNR・KON・SHB・BAB

観測点の大半がこの地域で、図 3-12 から概ね同様な地盤構成である。PS 検層の地点もこの地域内であり、速度値の決定には表 2-3 を基本にする。図 3-12 から地層の層序は完新統粘土層(U<sub>mc</sub>)、砂層(U<sub>s</sub>)、粘土層(U<sub>c</sub>)、更新統砂層(L<sub>s</sub>)、粘土層(L<sub>c</sub>)、砂礫層(L<sub>mg</sub>)の順で、粘土層と砂層が交互に堆積している。表 2-3 では、粘土層及び砂層に関する限り、完新統と更新統で速度に大きな差がなく平均して  $V_s=150\text{m/s}$  である。よって完新統・更新統の粘土層・砂層を一まとめにして  $V_s=150\text{m/s}$  とおいた。更新統砂礫層は  $V_s=480\text{m/s}\sim 550\text{m/s}$  の範囲であるため、ほぼその平均値の  $V_s=500\text{m/s}$  とした。

#### (b) TTA・TTD

地層の層序は完新統砂層(U<sub>s</sub>)、ローム層(L)、更新統砂層(L<sub>s</sub>)、粘土層(L<sub>mc</sub>)、砂礫層(L<sub>mg</sub>)の順であり、TTD では完新統砂層が欠如している。この地域の特徴として、完新統粘土層が欠如しており、更新統粘土層が厚く堆積していることである。TTA では表層

が砂層であることから、(a)の地域の表層に比べ若干速度が速いと考えられる上、微動の位相速度の最小値も約 250m/s であることから、 $V_s=200\text{m/s}$  とした。TTD の表層はローム層であることから、TTA の表層より若干速度が遅くなると考えられる。また、位相速度の方も、最小値が約 120m/s であることから、(a)の地域と同じ  $V_s=150\text{m/s}$  とした。更新統砂層は TTA の直下しか示されていないが、TTA にも共通して堆積しているものと考えられる。この層の速度値は、砂層よりは速いと考え、また微動の位相速度からこの層が微動に反映すると思われる 2~5Hz の値が約 300~500m/s であることから  $V_s=300\text{m/s}$  とした。砂礫層は(a)地域と同じ  $V_s=500\text{m/s}$  とおいた。

### (c) SMD・MYD・GNT・NEJ

これらの地域の特徴として、完新統・更新統砂礫層(Ug・Lmg)が表層を占め、基盤岩類までの深度が約 30m 以内である。よって、堆積層の層厚自体がかなり薄い。地表に現れている砂礫層は(a)(b)の地域の砂礫層に比べ若干速度が遅いと考えられる。そこで、表層の砂礫層については、微動の位相速度の最小値をみて適宜速度値を決めた。下部の砂礫層は(a)(b)の地域と同様に  $V_s=500\text{m/s}$  とした。

ここで、フォワードモデリングの誤差について吟味する。KAR のモデルを例に各層で層厚を数 m~数十 m の範囲で増減させて、理論分散曲線からどれだけのズレが生じるのか調べてみる(図 3-13)。本研究におけるフォワードの際の決定基準としては図 3-13 において、 $V_s=150\text{m/s}$  層は $\pm 2\text{m}$ 、 $V_s=500\text{m/s}$  層は $\pm 5\text{m}$ 、 $V_s=700\text{m/s}$  層は $\pm 20\text{m}$ 、 $V_s=1000\text{m/s}$  層は $\pm 40\text{m}$ 、 $V_s=1500\text{m/s}$ ・ $3000\text{m/s}$  層は $\pm 50\text{m}$  を許容範囲とした。他の観測点においても多少の増減があると考えられるが、ほぼ同様な許容範囲でモデリングしている。 $V_s=1000\text{m/s}$ ~ $3000\text{m/s}$  層は、1Hz 以上の領域の位相速度を用いる。1Hz における位相速度は約 1000m/s であることから、その波長は約 1000m となる。既往の研究によれば<sup>18)</sup>、層厚の誤差は解析に用いる周波数帯における波長の約 10%程度であると考えられる。この基準に従えば、本解析では  $V_s=1000\text{m/s}$ ~ $3000\text{m/s}$  層の層厚で約 100m 程度の誤差が含まれることになるが、モデリングの許容範囲はその誤差範囲内に収まっていると判断できる。また、表層( $V_s=150\text{m/s}$ ~ $500\text{m/s}$ )の深度を数 m 深く仮定すると、基盤層( $V_s=700\text{m/s}$ ~ $3000\text{m/s}$ )の深度は数十 m 浅く見積もられるため、高周波数側ではより厳密に一致させることとした。

SPAC 法による位相速度の推定限界は、宮腰<sup>19)</sup>によれば最小でアレイ最短半径の 2 倍、最大でアレイ最大半径の 10 倍としている。本研究もこの適用限界にならい、その範囲内の位相速度を地盤構造の推定に用いた。

## (2)推定結果の評価

この手順に従って求めた各観測点の地盤構造モデルを表 3-4 に示す。レイリー波の位相速度の変化は、地盤構造推定に利用するパラメータ中、 $V_s$  の変化に最も敏感なため、



得られる構造は S 波速度構造が最も信頼性の高いものとなる<sup>1)</sup>。よって、本論文では今後アレイ観測から得られる地盤構造について、S 波速度構造を議論の対象とする。

まず、得られた地盤構造モデルを総括すると  $V_s=100\text{m/s}\sim 300\text{m/s}$  の低速度層が約 15～60m あり、海岸部に近い点ほど層厚が厚くなる傾向がみられ、 $V_s=500\text{m/s}\sim 1500\text{m/s}$  の層も同様な傾向がみられる。最下層の  $V_s=3000\text{m/s}$  層までの深度は 200m～800m である。次に、図 3-14 に示すような断面を設定し、地盤構造を 2 次元的に概観する。平野部中央を南北方向に A-A'断面、東西方向に B-B'断面、鳥取市街地を南北方向に C-C'断面、吉岡断層をクロスするように D-D'断面をとる。それぞれの断面に近い観測点の S 波速度構造をそれらの断面に垂直に投影して柱状図に示す(図 3-15)。これら 4 断面について個別に解説する。

#### a)A-A'断面

$V_s=150\text{m/s}\sim V_s=300\text{m/s}$  の堆積層は山地側の SHB から KAR にかけて層厚が厚くなり、KAR から海岸に近い KRC にかけては再び薄くなる。岩盤層も同様な傾向を示す。 $V_s=700\text{m/s}\sim V_s=3000\text{m/s}$  層までの基盤深度の傾向をみると、NEJ→SHB は緩やかな傾斜であるが、SHB→YNG は急激に落ち込み、YNG→KAR は緩やかな傾斜で KAR が最も深くなり、KAR→KRC では比較的急激なせり上がりとなる。鳥取平野は海岸部で基盤岩層に相当急激な変化があることがわかる。

#### b)B-B'断面

$V_s=100\text{m/s}\sim V_s=500\text{m/s}$  の堆積層の層厚は JHK→YNG はほとんど変わらず TTD が最も厚くなる。岩盤層の層厚はこれとは逆に TTD から JHK にかけて徐々に厚くなる。よって基盤深度は JHK が最も深く約 850m に達する。JHK から東方へ約 1km 先には、標高 300m の久松山を含む花崗岩が露頭した山地があり、山地から JHK にかけて基盤の急激な落ち込みがあることがわかる。

#### c)C-C'断面

$V_s=100\text{m/s}\sim V_s=500\text{m/s}$  の堆積層には大きな傾向はなく NIK～KON では凹凸が見られる。岩盤層は南側から北側にかけて大きな傾向としては緩やかな傾斜となる。NIK～KON の地域をさらに詳細に見ると KON→YNR で基盤の急激な落ち込みがあり、YNR→MTK→MTK では凸の形状を呈する。よって、基盤構造を全般的にみると、北方にかけて傾斜する大きな傾向で、市街地の地域では比較的凹凸がみられることがわかる。

#### d)D-D'断面

吉岡断層は SMD と MYD のちょうど中間に位置し、SMD が MYD より約 2km 川上になる。 $V_s=150\text{m/s}\sim V_s=500\text{m/s}$  層の層厚に大きな差はないが、SMD→MYD で基盤層に落差がみられる。その落差は  $V_s=1000\text{m/s}$  層までが約 10m、 $V_s=1500\text{m/s}$  までが約 50m、 $V_s=3000\text{m/s}$  までが約 150m で、深部になるにつれ大きくなる傾向にある。吉岡断層は横ズレ成分が卓越(東側に最大 90cm)し、北側に最大 50cm の沈降したとの報告<sup>2)</sup>

がある。これは、両地点の基盤の落差が北落ちであることと一致する。また、2kmの区間の間に段差構造があると想定した場合、深さ方向に落差が大きいということは、この断層に履歴がある可能性も示唆される。一方、両アレイの中心点が2kmの間隔があり、地盤モデルが1次元構造で与えられていることを考えると、傾斜している可能性も否定できない。これを厳密に調べるためには、2地点を補完するような高密度なアレイ観測、3成分観測や別の探査法(重力観測、電気探査、磁気探査等)を組み合わせ、あらゆる角度から検証する必要であろう。

この解析では基盤岩層を全観測点で一定としているが、実際には各観測点で違いがあるものと推測される。よって、基盤岩層については今後検討の余地があると思われる。

### 3.3.3 H/Vによる基盤構造の推定

H/Vのピーク周期から基盤深度を求めるには、それらの関係を調べる必要がある。大阪平野の例では、微動の長周期側(脈動)のピーク周期が基盤岩境界( $V_p=5.13\text{km/s}$ )の深度分布と調和的である報告している<sup>20)</sup>。また、中国の上海平野の例では、脈動のH/Vのピーク周期が基盤岩深度と良い相関があることを示している<sup>21)</sup>。ただし、短周期の常時微動は表層地質や地盤構造に影響するとしている<sup>20)21)</sup>。

本研究では、各観測点における地盤構造下でのレイリー波の特性を把握することにより、微動のH/Vの特性を調べることにする。その手順としてはまず、アレイで得られた速度構造モデルから図3-16に示すように、 $V_s=3000, 1500, 1000, 700, 500\text{m/s}$ の層を最下層と仮定し、それらの上層のモデルは変更せずに、レイリー波基本モードのH/Vを計算する。次に、その計算で得られたレイリー波H/Vと各アレイの中心点で得られたH/Vと比較する。レイリー波の基本モードのH/Vと観測値のH/Vの一致性をみて、最終的にどの基盤深度を指標とすべきか検討する。図3-17はレイリー波の理論計算と観測で得られたH/Vを重ねて示している。なお、対象とする地点はピークが明瞭な場合(ピーク値3以上で急峻なピーク)としたため、GNT, BAB, NEJ, SMD, MYDは対象から外した(付録図4を参照)。

レイリー波基本モードH/Vの計算からそのパターンは2つのに大別できる。①の場合においても1秒以下で観測値と計算値が一致し、 $V_s=3000\text{m/s}$ の場合には長周期側にさらにもう1つピークが現れるパターンで、これはTTD, TTA, SHB以外の点で共通している。②TTD, TTA, SHBのように各場合でピークの形状、周期とも大きく変化するパターン。①のパターンではレイリー波理論値の1秒以下に現れる顕著なピークが観測値のピークとほぼ一致し、②のパターンでは $V_s=1000\text{m/s}$ もしくは $V_s=1500\text{m/s}$ の場合が最もよく一致する。これらの結果から判断すると、②ではH/Vのピーク周期が $V_s=1000$ もしくは $V_s=1500\text{m/s}$ の基盤深度に依存し、①では $V_s=500\text{m/s}\sim 1500\text{m/s}$ のいずれの基盤深度にも依存するという解釈ができる。一方、鳥取平野内で同じ基盤深度

( $V_s=1000\text{m/s}$  もしくは  $V_s=1500\text{m/s}$ )に依存するという考え方もあるが、この比較のみでは適切な判断が難しい。

表層第1層と2層に着目すると、②のパターンのTTA, TTDでは $V_s=300\text{m/s}$ の層が含まれることから、これらの層をあわせると①のパターンよりも速度値が大きくなる。よって、表層の速度の大小がH/Vの特性に影響を与えている可能性がある。そこで、地盤モデルのパターン変化とH/Vの特性の関係について、図3-18のような3層の地盤モデルを用いて検討する。この検討では、仮定した地盤モデルからレイリー波の理論H/Vを計算し、その特性について調べる。地盤モデルは基盤層を $V_s=1000\text{m/s}$ で共通とし、第1層を(1) $V_s=100\text{m/s}$ , (2) $V_s=300\text{m/s}$ とした場合において、第2層を(1) $V_s=200\text{m/s} \sim 600\text{m/s}$ , (2) $V_s=400\text{m/s} \sim 800\text{m/s}$ の範囲で $100\text{m/s}$ ずつ変化させたパターンを考えた。層厚に関しては、第1層を25mと第2層を50mとした。モデルの各パラメータについては表3-5の通りとした。モデル計算の結果を図3-19に示す。

(1)のパターン(図3-19(1))からみていく。 $V_s$ が小さくなるにつれ、ピークとディップが明瞭な形状は維持したまま、長周期側に移動していくことがわかる。さらに注意して観察すると $V_s=400\text{m/s} \sim 600\text{m/s}$ の場合はあまり移動していない。これらの特性の原因を考察してみる。 $V_s=400\text{m/s} \sim 600\text{m/s}$ では第1層と第2層のインピーダンス比(下層の速度/上層の速度)が比較的大きい。よって3.1.2で説明した2層地盤モデルに置き換えると、第1層が表層、第2層+第3層が基盤層となり、第1層の層厚に依存した周期特性を示すことになる。そのため、ピーク及びディップ周期はあまり移動しないようである。一方、 $V_s=200\text{m/s} \sim 300\text{m/s}$ では第1層と第2層のインピーダンス比が小さくなる代わりに第2層と第3層のインピーダンス比が大きくなる。よって、2層地盤モデルに置き換えてみれば第1層+第2層が表層に転じて、第1層+第2層の層厚に依存した周期特性を示すため長周期側に移動する。

(2)のパターン(図3-19(2))は(1)のパターンとは全く異なった特性を示す。 $V_s=400\text{m/s}$ のときピークとディップが明瞭であるが、 $V_s=500\text{m/s}$ になるとピークが小さくなり、ピーク周期は僅かに短周期側に移動する。 $V_s=600\text{m/s}$ ではピークがさらに不明瞭になりディップも小さくなり、ピークはより短周期側に移動する。 $V_s=700\text{m/s}$ では再びピーク、ディップとも明瞭になり、ピーク周期はさらに短周期側に移動する。 $V_s=800\text{m/s}$ ではピークとディップが明瞭で、ピーク周期は $V_s=700\text{m/s}$ の場合と一致する。この原因を(1)のパターンと同様に各層のインピーダンス比との関係で考察してみる。 $V_s=400\text{m/s}$ では第1層と第2層のインピーダンス比は比較的小さく、第2層と第3層のインピーダンス比の方が大きい。よって、そのピーク周期は第1層+第2層の層厚に依存する。また、 $V_s=800\text{m/s}$ では逆に第1層と第2層のインピーダンス比の方が大きくなり、第1層の層厚がピーク周期に依存する。 $V_s=500\text{m/s} \sim 700\text{m/s}$ では第1層と第2層および第2層と第3層のインピーダンス比はほぼ同じになる。つまり、深さ方向に対して階段状に速度

値が大きくなる地盤モデルとなる。この場合、 $H/V$ の形状は3.1.2で述べた2層地盤モデルの結果にあてはめると、ディップが明瞭なタイプ2の形状に近い。周期特性は第1層に近い値( $V_s=500\text{m/s}$ )をとる場合は第1層の層厚に、第3層に近い値( $V_s=700\text{m/s}$ )をとる場合は第1層+第2層の層厚に依存しているものと考えられる。 $V_s=600\text{m/s}$ の周期特性はちょうどその中間に位置することから、層厚との依存関係は不明瞭であるが、ディップの位置から $V_s=700\text{m/s}\sim 800\text{m/s}$ の場合、つまり第1層の層厚に依存するものと考えられる。

(1)と(2)の結果を実際の地盤での①と②の結果に関連付けてみる。①の地盤の第1層は $V_s=150\text{m/s}$ であり、基盤層 $V_s=500\text{m/s}\sim 1500\text{m/s}$ の層に対して2以上のインピーダンス比である。また、②の地盤では $V_s=300\text{m/s}$ の層が存在し基盤層 $V_s=500\text{m/s}$ の層とはインピーダンス比が2以下と小さい。これらの実地盤モデルは3層地盤モデルに置き換えると、表層〔実地盤 $V_s=150\sim 300\text{m/s}$ 〕が第1層、中間層〔実地盤 $V_s=500\text{m/s}\sim 1500\text{m/s}$ 〕が第2層、最下層〔実地盤 $V_s=3000\text{m/s}$ 〕が第3層と考えれば(図3-20のような概念になる)、①の地盤は(1)での $V_s=400\text{m/s}\sim 600\text{m/s}$ のパターン、②の地盤は(2)の $V_s=600\text{m/s}\sim 800\text{m/s}$ のパターンに近い地盤モデルである。よって、 $H/V$ のピーク周期は①の地盤では $V_s=500\text{m/s}\sim 1500\text{m/s}$ のどの基盤層を最下層と仮定しても常に $V_s=500\text{m/s}$ までの基盤深度に依存し、②の地盤の形状(ピークとディップが明瞭)と周期特性が最も一致する場合、つまり $V_s=1000\text{m/s}\sim 1500\text{m/s}$ までの基盤深度に依存することになる。

これらの検討の結果、 $H/V$ のピーク周期と基盤深度の関係は、鳥取平野内で少なくとも2つの指標があり、(a) $V_s=500\text{m/s}$ までの基盤深度、(b) $V_s=1000\text{m/s}\sim 1500\text{m/s}$ までの基盤深度を示すというものである。(a)と(b)を区別する目安としては、表層に $V_s=300\text{m/s}$ 層が含まれていなければ(a)、含まれていれば(b)という判断ができる。よって、 $H/V$ のピーク周期から基盤深度の算定を行うには、表層(堆積層)の速度値が正確に把握しておくことが不可欠であると考えられる。

現時点では堆積層の速度値が判明しているPS検層地点あるいはアレイ観測地点の数が少なく、(a)及び(b)の地域の特定が難しい。よって、基盤深度の絶対値を面的に決定することは困難である。しかし、〔ピーク周期が長い→基盤深度が深い〕という関係は明らかであるので、相対的な基盤深度の傾向を把握することは十分可能であると思われる。ただし、この場合でもTTD・TTA付近で表層に更新統砂層(Ls)層( $V_s=300\text{m/s}$ 層)が厚く堆積している地域(恐らく砂丘列の地域)には注意が必要である。鳥取平野全域について3次元の基盤深度分布を概観するために、ピーク周期のコンターマップを示す(図3-21)。この図から次のように基盤構造の様子が読み取れる。海岸付近の基盤の起伏が大きく、海岸部にかけて急激に基盤がせり上がることがわかる。久松山のある東側の山地からJHKの周辺の平野部にかけては、急激な基盤の落ち込みがみられ、ステップ構造となっ

ている。基盤深度の最も深い地域は、アレイ観測点の KAR, KRC, TTD, YNG, JHK に囲まれた盆地構造をとっている。

### 3.4 まとめ

本章では、微動探査法の解説および鳥取平野での探査結果について述べた。微動観測は過去5年間にアレイ観測を16点、単点3成分観測が410点実施されている。それらのデータをもとに、鳥取平野の地盤構造の解明を試みたものである。その結果、アレイ観測データの解析から速度による1次元地盤構造モデル、3成分単点観測データmp解析から相対的な3次元基盤面を推定することができた。推定された地盤構造について特徴をまとめる次のようになる。

- (1) 表層の S 波速度は 100~300m/s と低速度であること、その層厚は薄いとこでも 10m, 厚いところでは 40m に達する。Vs=3000m/s の最下層までの深度は約 200m~800m であることがわかった。
- (2) 速度による基盤深度の傾向として、平野の南北方向について南域→北域にみると、平野中央部までは緩やかな傾斜で深くなるが、途中から急激な落ち込みとなり、最深部から再び海岸部に向けせり上がりが見られる。また、東西方向については、東域の久松山を含む山地から平野部にかけて急激な落ち込みが見られる。
- (3) H/V のピーク周期コンターマップより、3次元的に基盤面をみると海岸部の浅い帯状の地域、その地域に沿うように平野の最深部地域が東西方向に伸びている。

このように、鳥取平野での微動探査法の適用により、これまで十分に解明されていなかった、平野全域の地盤構造を推定できた。しかし、微動探査結果だけでは、正確な推定が困難な場合もあり、より詳細な検討が必要である。5章で重力解析結果との総合解析を行い、より正確な地盤構造の推定を試みる。

### 参考文献

- 1) Aki, K. : Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst., 35, pp415-456, 1957.
- 2) Capon, J. : High-resolution frequency - wavenumber spectrum analysis, Proc. IEEE, 57, pp1408-1418, 1969.
- 3) 岡田廣, 松島健, 森本武男, 笹谷努 : 広域・深層地盤調査のための長周期微動探査法, 物理探査, 第43巻第6号, pp402-417, 1990.
- 4) Henstridge, J. D. : A signal processing method for circle arrays, Geophysics, 44, pp179-184, 1979.
- 5) 岡田廣, 凌甦群: 微動利用の地下構造探査に関する最近の研究について, pp68-98, 1994.
- 6) 松岡達郎, 梅沢夏実, 巻島秀男 : 地下構造推定のための空間自己相関法の適用性に関する

- る検討, 物理探査, 第 49 巻第 1 号, pp26-41, 1996.
- 7) 盛川仁, 土岐憲三, 澤田純男, 赤松順平, 中島大輔, 江尻譲嗣, 宮腰研: やや長周期の 2 点同時観測記録によるアレー観測法, 土木学会第 53 回年次学術講演会, 1998.
  - 8) 時松孝次, 宮寺泰生: 短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係, 日本地震学会構造系論文集, 439, pp81-87, 1992.
  - 9) 大町達夫, 紺野克昭, 遠藤達哉, 年縄巧: 常時微動の水平動と上下動のスペクトル比を用いる地盤周期推定方法の改良と適用, 土木学会論文集, No.489, pp251-260, 1994.
  - 10) Lachet, C. and Bard, P, Y. : Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique, J. Phys. Earth, 42, pp377-397, 1994.
  - 11) 若松邦夫, 安井 譲: 短周期微動の水平動上下スペクトル比による地盤増幅特性評価の可能性に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 471 号, pp61-70, 1994.
  - 12) 時松孝次, 新井洋, 浅香美治: 微動観測から推定した神戸市住吉地区の深部 S 波速度構造と地震動特性, 日本建築学会構造系論文報告集, 491, pp37-45, 1997.
  - 13) 斎藤徳美: DISPER80 FRAT-VER.1, 1995.
  - 14) 鳥取地盤研究会; 鳥取地盤図(東部), 1991.
  - 15) 狐崎長琅, 後藤典俊, 小林芳正, 井川猛, 堀家正則, 斎藤徳美, 黒田徹, 山根修一, 奥住宏一: 地震動予測のための深層地盤 P・S 波速度の推定, 自然災害科学, 9-3, pp4-10, 1990.
  - 16) 応用地質(株): LNG サテライト設備建設工事地盤調査(PS 検層)報告書, 1996.
  - 17) 川崎地質(株): 鳥取本局~鳥取市外局間とう道計画工事(土木)土質調査報告書, pp65-78, 1979.
  - 18) 宮腰研, 香川敬生, 鶴来雅人, 赤澤隆士, 趙伯明, 野口竜也, 福本和正, 藤原悌三: 彦根市における微動を用いた地下構造探査(2), 日本地震学会講演予稿集, S16, 1998.
  - 19) 宮腰研: 微動探査法による表面波位相速度推定の基礎的研究, 北海道大学博士論文, 1995.
  - 20) 若松邦夫, 澤田純男, 大堀道広, 入倉孝次郎: 微動からみた大阪平野の地盤震動特性, 日本建築学会, 第 24 回地盤震動シンポジウム, 1996.
  - 21) 赤松純平, 李文芸, 盛川仁, 斎藤秀雄, 羅奇峰, 陶能付, 亀田弘行, 章在, 藤原悌三: 脈動観測による上海平野の地盤振動特性—スペクトル比(H/V)のピーク周波数と基盤岩深度との関係—, 京都大学防災研究所年報, 37B-1, pp119-126, 1994.

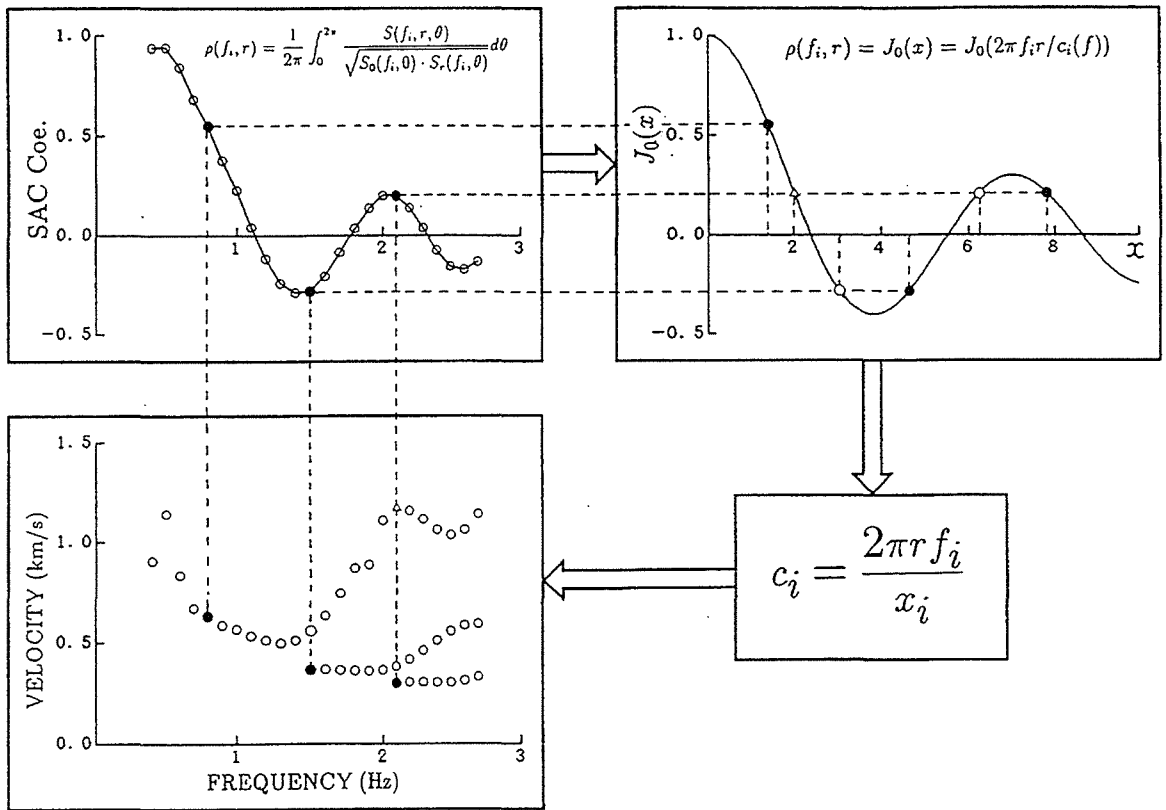


図3-1 SPAC法による位相速度推定の流れ

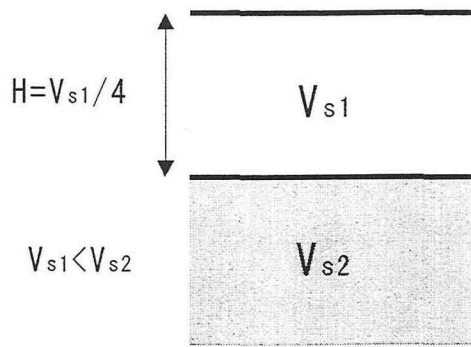


表3-1 2層地盤モデルのパラメータ

|          | $V_p(m/s)$ | $V_s(m/s)$ | 層厚(m)    | $\rho(g/cm^3)$ |
|----------|------------|------------|----------|----------------|
| $V_{s1}$ | 1400       | 100        | 25       | 2.0            |
|          | 1510       | 200        | 50       | 2.0            |
|          | 1620       | 300        | 75       | 2.0            |
|          | 1730       | 400        | 100      | 2.0            |
| $V_{s2}$ | 1840       | 500        | $\infty$ | 2.0            |

図3-2(1) 2層地盤モデル

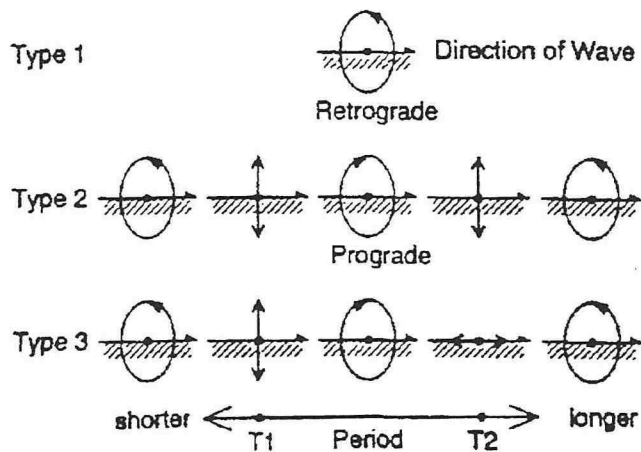


図3-2(2) レイリー波基本モードの粒子軌跡

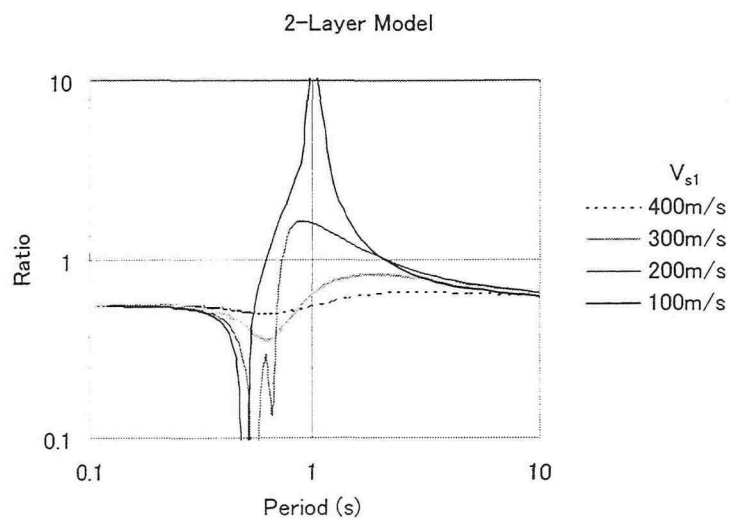


図3-3 レイリー波基本モードのモード水平上下振幅比



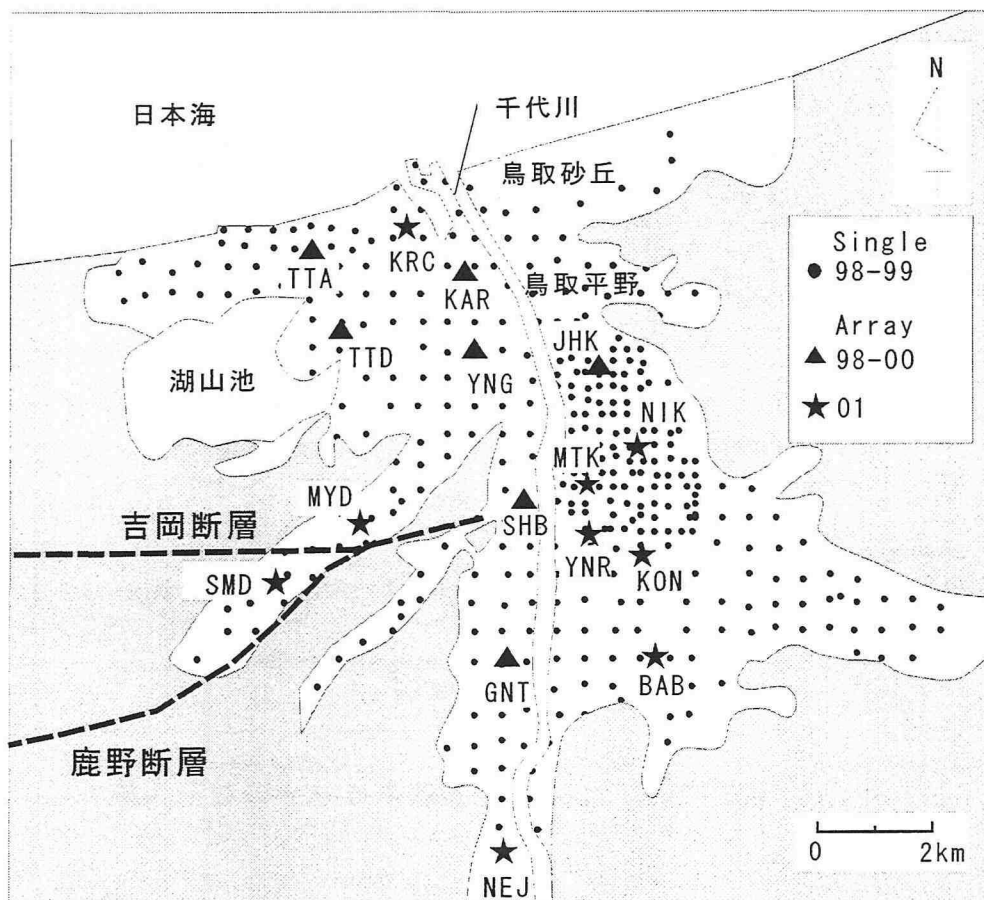


図3-4 微動の観測点位置図

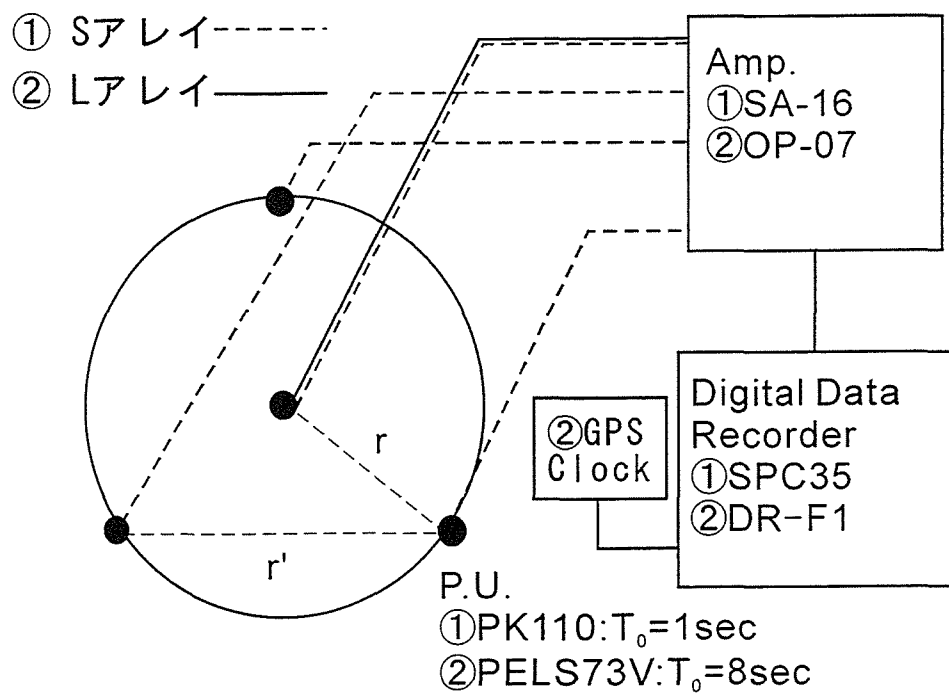


図3-5 観測システム図(アレイ観測)

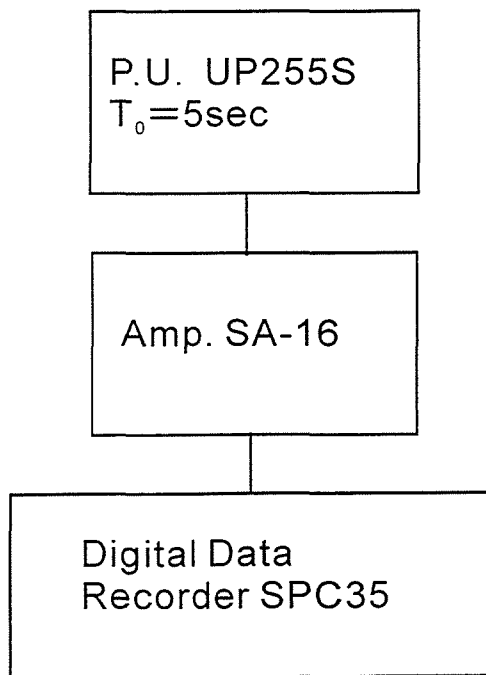


図3-6 観測システム図(単点観測)

表3-2 アレイ観測概要

Lアレイ (R=125m~500m)

| 観測場所   | 観測日時       | アレイ半径(m)      | サンプリング<br>周波数(Hz) | アンプ倍率 | 使用機材   |  |
|--------|------------|---------------|-------------------|-------|--|--|
| TTD    | 2000.11.14 | 250, 500      | 100               | 1000倍 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地震計:PELS73V</li> <li>・アンプ:OP-07手製</li> <li>Low-Pass Filter 10Hz</li> <li>・データレコーダー:<br/>DR-F1(14bits)</li> <li>以上を4セット</li> <li>GPS時刻補正</li> </ul> |  |
| YNG    | 2000.11.30 | 250           |                   | 500倍  |  |  |
|        | 2000.12.1  | 500           |                   |       |  |  |
| JHK    | 2000.11.29 | 250, 500      |                   |       |  |  |
| KAR    | 2000.11.5  | 250, 500      |                   |       |  |  |
| SHB    | 2000.11.9  | 250           |                   |       |  |  |
| GNT    | 2000.12.1  | 250           |                   |       |  |  |
| TTA    | 2000.11.11 | 400, 200      |                   |       |  |  |
| SMD    | 2001.6.21  | 125, 250, 500 |                   |       |  |  |
| MYD    |            |               |                   |       |  |  |
| NIK    | 2001.6.28  | 125, 250      |                   | 1000倍 |  |  |
| YNR    |            |               |                   |       |  |  |
| MTK    | 2001.7.4   |               |                   |       |  |  |
| KON    |            |               |                   |       |  |  |
| JHK(再) | 2001.9.19  |               |                   |       | 125, 250   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地震計:PK110</li> <li>・アンプ:SA16</li> <li>Low-Pass Filter 10Hz</li> <li>・データレコーダ:<br/>SPC35(16bits)</li> <li>以上を2セット</li> <li>GPS時刻補正</li> </ul> |
| KRC    |            |               |                   |       |  |  |
| BAB    | 2001.9.17  |               |                   |       |  |  |
| NEJ    | 2001.9.18  |               |                   |       |  |  |

Sアレイ(R=3m~70m)

| 観測場所 | 観測日時       | アレイ半径(m)      | サンプリング<br>周波数(Hz) | アンプ倍率 | 使用機材  |
|------|------------|---------------|-------------------|-------|---|
| TTD  | 1998.12.3  | 3, 10, 30, 50 | 100               | 1000倍 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地震計:PK110(4台)</li> <li>・アンプ:SA16</li> <li>Low-Pass Filter<br/>10Hz or 30Hz</li> <li>・データレコーダ:<br/>SPC35(16bits)</li> <li>以上を1セット</li> <li>ケーブル利用</li> </ul> |
| YNG  | 1998.12.5  | 3, 10, 30, 50 |                   | 500倍  |   |
|      | 1999.1.22  | 60            |                   |       |   |
| JHK  | 1999.1.27  | 3, 10, 30, 60 |                   |       |   |
| GNT  | 1999.11.5  | 3, 10, 30, 70 |                   |       |   |
| KAR  | 1999.11.30 | 3, 10, 30, 70 |                   |       |   |
| SHB  | 2000.5.25  | 3, 10, 30, 50 | 500               | 1000倍 |   |
| TTA  | 2000.11.12 | 10, 30, 60    |                   |       |   |
| SMD  | 2001.6.21  | 10, 30        |                   |       |   |
| MYD  |            |               |                   |       |   |
| KRC  | 2001.8.27  |               |                   |       |   |
| NIK  |            |               |                   |       |   |
| YNR  |            |               |                   |       |   |
| MTK  |            |               |                   |       |   |
| KON  |            |               |                   |       |   |
| BAB  | 2001.9.18  |               |                   |       |   |
| NEJ  |            |               |                   |       |   |

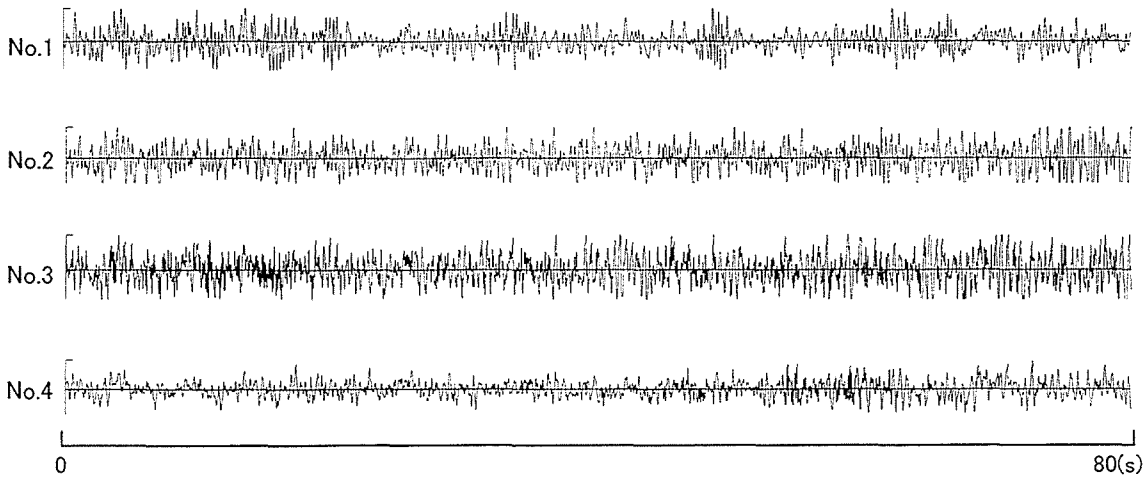


図3-7 KAR (R=250m)における観測波形の一例 (速度記録)

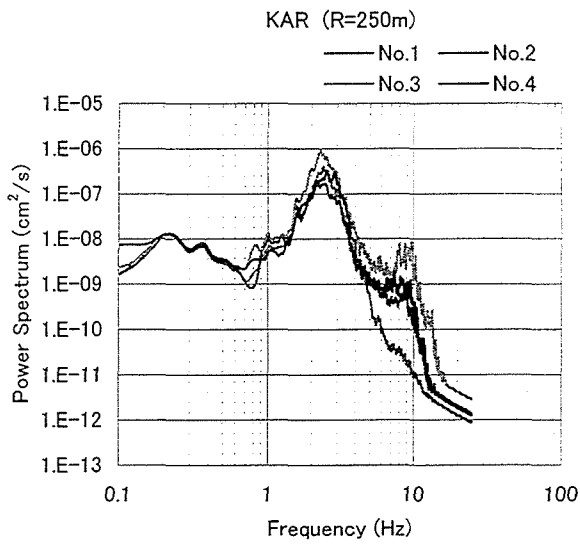


図3-8 KAR (R=250m)における平均パワースペクトル

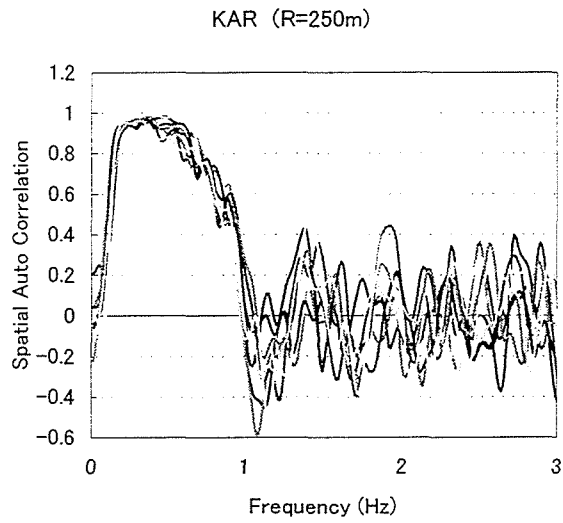


図3-9 KAR (R=250m)における空間自己相関係数 (全選定区間分)

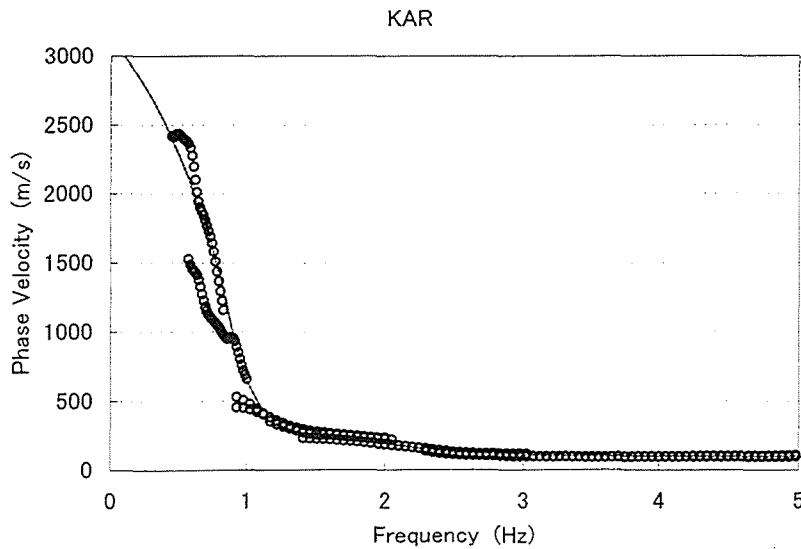
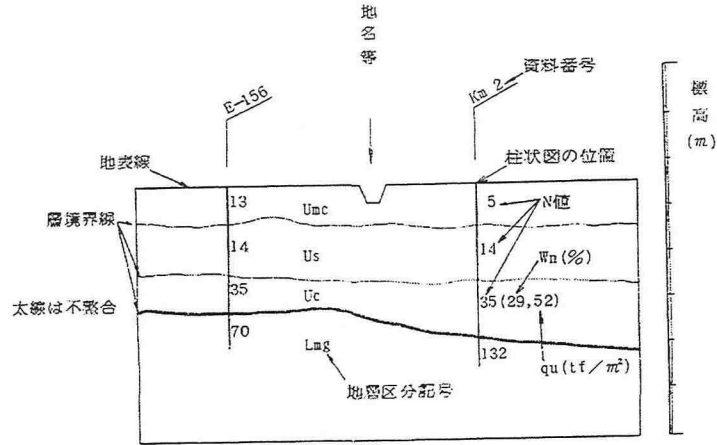


図3-10 KAR (R=250m)における位相速度分散曲線 (プロットは観測値, 実線は理論曲線)

断面凡例



地質区分と概要

| 地質時代        | 地層区分      | 表記色調    | 地質名  | 地質的特性                                    |
|-------------|-----------|---------|--|--|
| 第<br>新<br>世 | 沖積層       | Ums 505 | 最上部砂質土層  | 表層 (埋立土を含む)。潟湖末期堆積物。<br>有機質を混える          |
|             |           | Umc 537 | 最上部粘性土層  |  |
|             | 洪積層       | Umg 558 | 最上部礫質土層  | 河川氾濫原堆積層, UmcはN = 0~3                    |
|             |           | Us 505  | 上部砂質土層   | 河成堆積層 (N < 10), 新砂丘 (N > 10)             |
|             |           | Uc 537  | 上部粘性土層   | 海進時代堆積層 (主として海成堆積層),<br>有機質を混える, N = 0~4 |
| 第<br>新<br>世 | 後期<br>洪積層 | Lc 533  | 下部粘性土層   | 海成堆積物, 火山灰, 軽石を混えることもある<br>N = 5~15      |
|             |           | Ls 506  | 下部砂質土層   | 河成堆積物 (N > 15), 古砂丘 (N > 20)             |
|             | Lg 561    | 下部礫質土層  |  |  |
|             | 中期<br>以前  | L 516   | ローム層   | 火山灰, 火山砂等の火山堆積物                          |
|             |           | Lmc 533 | 最下部粘性土層  | Lmc はN > 10で過圧密                          |
|             |           | Lms 506 | 最下部砂質土層  | 扇状地性基底礫層, 段丘礫層, 火山砕屑流                    |
|             |           | Lmg 561 | 最下部礫質土層  | Lms, Lmg はN > 50                         |
| 第三紀以前       | B 540     | 基盤岩類    | (火成岩) 花崗岩, 流紋岩, 安山岩, 玄武岩<br>(堆積岩) 礫岩, 砂岩, シルト岩, 泥岩, 凝灰岩<br>凝灰角礫岩 |  |

- 1) 本表は鳥取県地盤図(1981)PP.2 表1-1をもとに加筆作成した。
- 2) 沖積層と洪積層との区分は約1万年前(縄文海進)とした。
- 3) ローム層は約2万年前であり、Lc, Ls, Lg層とLm層とは有楽町海進を境とする。
- 4) 表記色調は三菱鉛筆 uniの色番号を示す。

図3-12(1) アレイ付近の地盤断面図(凡例)

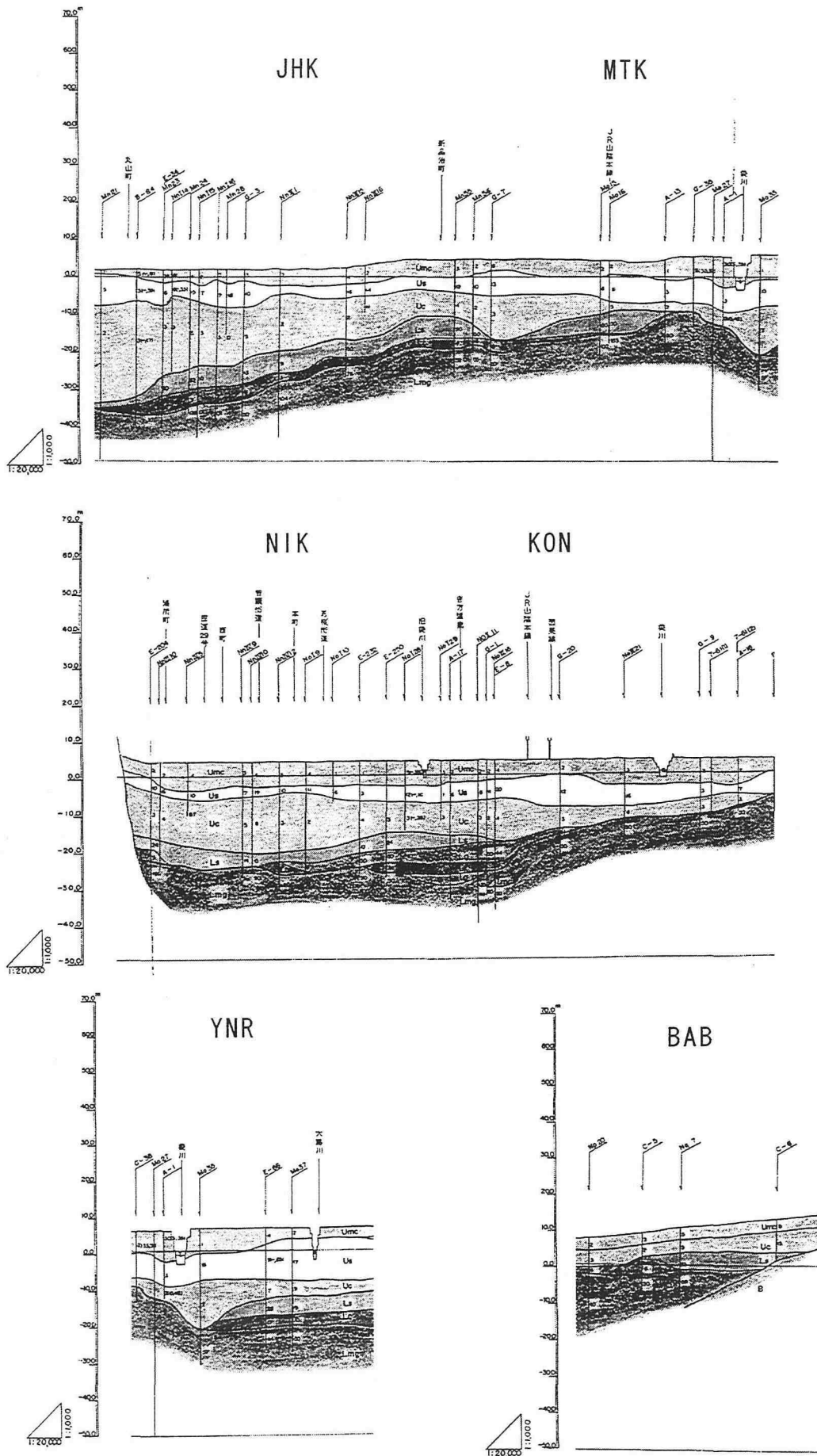


図3-12(2) アレイ観測点付近の地盤断面図

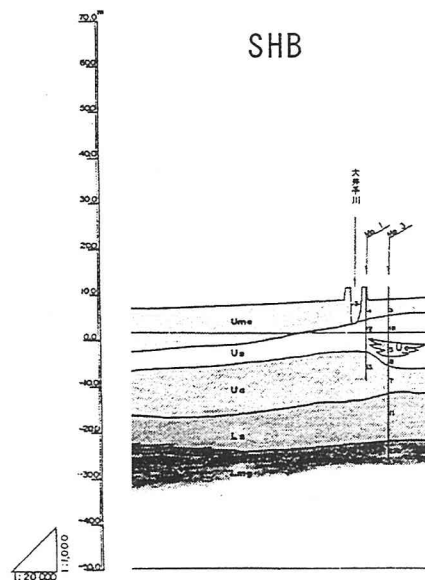
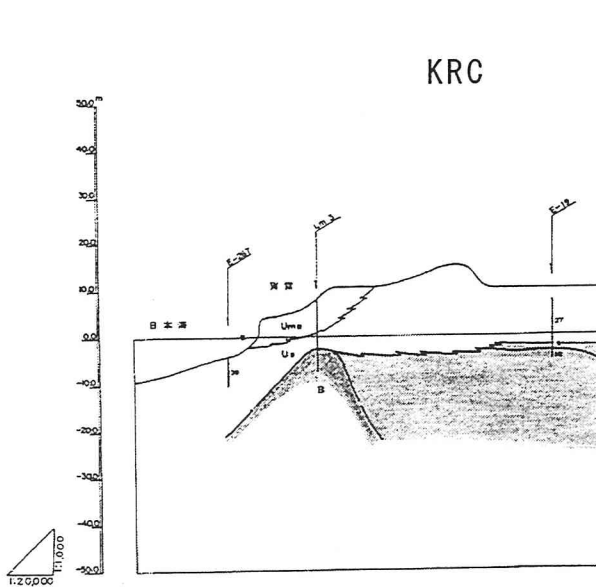
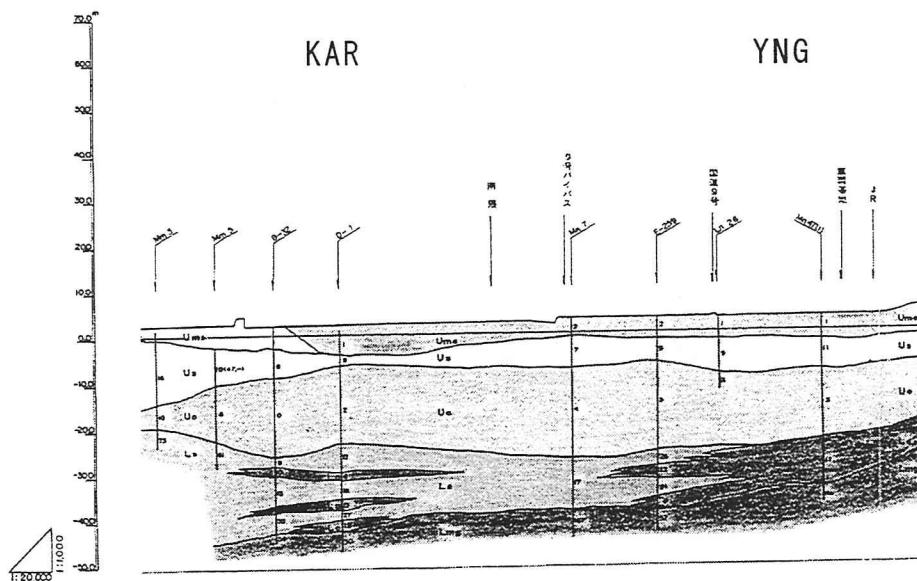
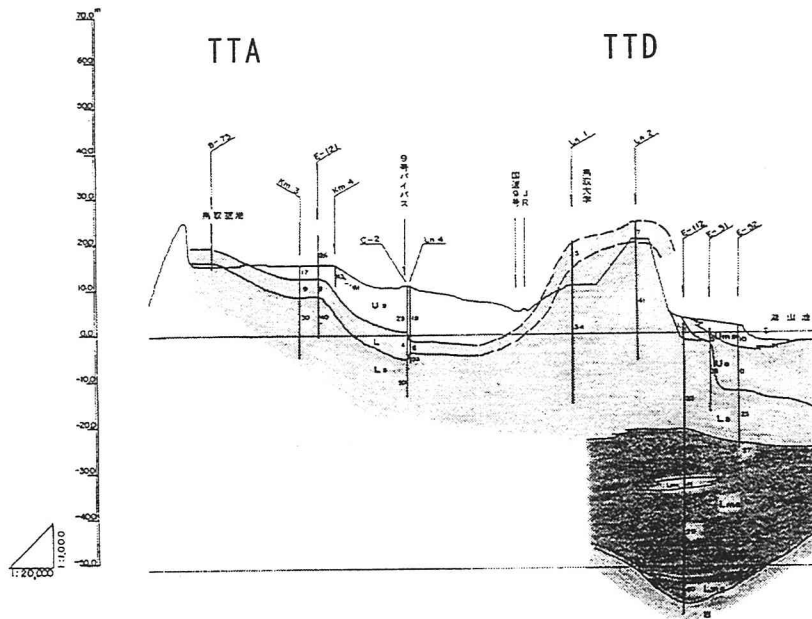
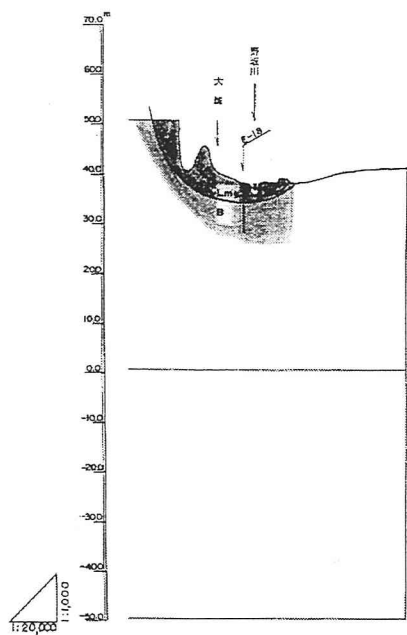
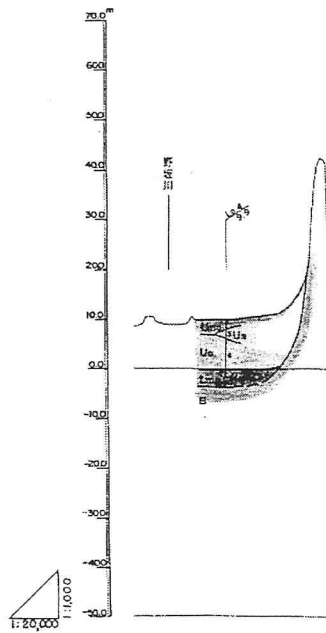


図3-12(3) アレイ観測点付近の地盤断面図

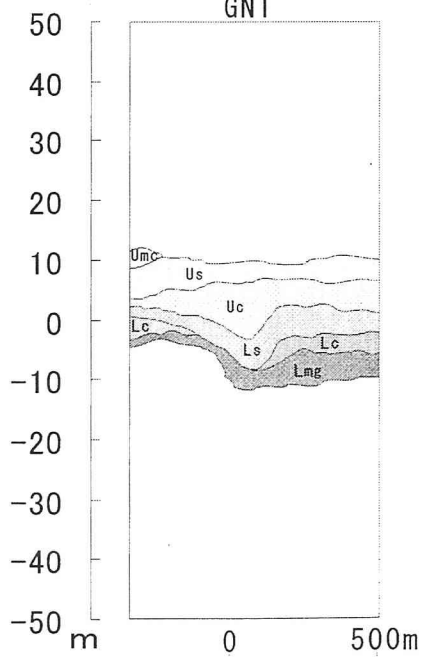
SMD



MYD



GNT



NEJ

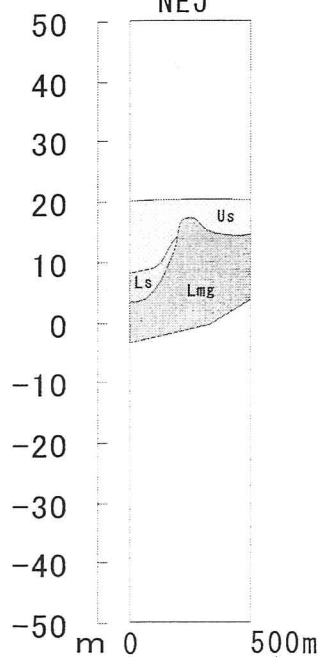


図3-12(4) アレイ観測点付近の地盤断面図



表3-3 地盤構造モデルのパラメータ

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | 地質年代        | 地質         |
|-----------------------------|----------|----------|-------------|------------|
| 1.6                         | 1460     | 150      | 第四紀         | 完新統<br>更新統 |
| 1.7                         | 1510     | 200      |             |            |
| 1.8                         | 1730     | 300      |             |            |
| 2.0                         | 1840     | 500      |             |            |
| 2.1                         | 2060     | 700      | 新第三紀        | 固結度・小      |
| 2.2                         | 2390     | 1000     |             | 固結度・中      |
| 2.4                         | 2940     | 1500     |             | 固結度・大      |
| 2.6                         | 5180     | 3500     | 古第三紀<br>中生代 | 花崗岩<br>火山岩 |

表3-4(1) 最終地盤構造モデル(1998年~2000年度観測分)

| TTD                         |          |          |          | YNG                         |          |          |          |
|-----------------------------|----------|----------|----------|-----------------------------|----------|----------|----------|
| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | 層厚 (m)   | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | 層厚 (m)   |
| 1.6                         | 1455     | 150      | 17       | 1.6                         | 1455     | 150      | 32       |
| 1.8                         | 1620     | 300      | 35       | 2.0                         | 1840     | 500      | 20       |
| 2.0                         | 1840     | 500      | 40       | 2.1                         | 2060     | 700      | 120      |
| 2.1                         | 2060     | 700      | 50       | 2.2                         | 2390     | 1000     | 200      |
| 2.2                         | 2390     | 1000     | 70       | 2.4                         | 2940     | 1500     | 300      |
| 2.4                         | 2940     | 1500     | 250      | 2.6                         | 4590     | 3000     | $\infty$ |
| 2.6                         | 4590     | 3000     | $\infty$ |                             |          |          |          |

| JHK                         |          |          |          | TTA                         |          |          |          |
|-----------------------------|----------|----------|----------|-----------------------------|----------|----------|----------|
| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | 層厚 (m)   | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | 層厚 (m)   |
| 1.6                         | 1455     | 150      | 30       | 1.7                         | 1510     | 200      | 9        |
| 2.0                         | 1840     | 500      | 25       | 1.8                         | 1620     | 300      | 25       |
| 2.1                         | 2060     | 700      | 160      | 2.0                         | 1840     | 500      | 20       |
| 2.2                         | 2390     | 1000     | 230      | 2.1                         | 2060     | 700      | 30       |
| 2.4                         | 2940     | 1500     | 350      | 2.2                         | 2390     | 1000     | 80       |
| 2.6                         | 4590     | 3000     | $\infty$ | 2.4                         | 2940     | 1500     | 240      |
|                             |          |          |          | 2.6                         | 4590     | 3000     | $\infty$ |

| SHB                         |          |          |          | KAR                         |          |          |          |
|-----------------------------|----------|----------|----------|-----------------------------|----------|----------|----------|
| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | 層厚 (m)   | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | 層厚 (m)   |
| 1.6                         | 1455     | 150      | 25       | 1.6                         | 1455     | 150      | 40       |
| 2.0                         | 1840     | 500      | 20       | 2.0                         | 1840     | 500      | 25       |
| 2.1                         | 2060     | 700      | 70       | 2.1                         | 2060     | 700      | 150      |
| 2.2                         | 2390     | 1000     | 80       | 2.2                         | 2390     | 1000     | 200      |
| 2.4                         | 2940     | 1500     | 150      | 2.4                         | 2940     | 1500     | 300      |
| 2.6                         | 4590     | 3000     | $\infty$ | 2.6                         | 4590     | 3000     | $\infty$ |

| GNT                         |          |          |          |
|-----------------------------|----------|----------|----------|
| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | 層厚 (m)   |
| 1.7                         | 1510     | 200      | 10       |
| 2.0                         | 1840     | 500      | 15       |
| 2.1                         | 2060     | 700      | 70       |
| 2.2                         | 2390     | 1000     | 100      |
| 2.4                         | 2940     | 1500     | 100      |
| 2.6                         | 4590     | 3000     | $\infty$ |

表3-4(2) 最終地盤構造モデル (2001年度観測分)

YNR

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)    |
|-----------------------------|---------|---------|----------|
| 1.6                         | 1455    | 150     | 27       |
| 2.0                         | 1840    | 500     | 25       |
| 2.1                         | 2060    | 700     | 120      |
| 2.2                         | 2390    | 1000    | 180      |
| 2.4                         | 2940    | 1500    | 300      |
| 2.6                         | 4590    | 3000    | $\infty$ |

NIK

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)    |
|-----------------------------|---------|---------|----------|
| 1.6                         | 1455    | 150     | 28       |
| 2.0                         | 1840    | 500     | 50       |
| 2.1                         | 2060    | 700     | 110      |
| 2.2                         | 2390    | 1000    | 170      |
| 2.4                         | 2940    | 1500    | 320      |
| 2.6                         | 4590    | 3000    | $\infty$ |

MTK

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)    |
|-----------------------------|---------|---------|----------|
| 1.6                         | 1455    | 150     | 16       |
| 2.0                         | 1840    | 500     | 15       |
| 2.1                         | 2060    | 700     | 160      |
| 2.2                         | 2390    | 1000    | 200      |
| 2.4                         | 2940    | 1500    | 300      |
| 2.6                         | 4590    | 3000    | $\infty$ |

KON

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)    |
|-----------------------------|---------|---------|----------|
| 1.6                         | 1455    | 150     | 17       |
| 2.0                         | 1840    | 500     | 15       |
| 2.1                         | 2060    | 700     | 100      |
| 2.2                         | 2390    | 1000    | 130      |
| 2.4                         | 2940    | 1500    | 180      |
| 2.6                         | 4590    | 3000    | $\infty$ |

SMD

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)    |
|-----------------------------|---------|---------|----------|
| 1.6                         | 1620    | 300     | 13       |
| 2.0                         | 1840    | 500     | 15       |
| 2.1                         | 2060    | 700     | 20       |
| 2.2                         | 2390    | 1000    | 60       |
| 2.4                         | 2940    | 1500    | 100      |
| 2.6                         | 4590    | 3000    | $\infty$ |

MYD

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)    |
|-----------------------------|---------|---------|----------|
| 1.6                         | 1455    | 150     | 10       |
| 1.8                         | 1620    | 300     | 10       |
| 2.0                         | 1840    | 500     | 10       |
| 2.1                         | 2060    | 700     | 30       |
| 2.2                         | 2390    | 1000    | 100      |
| 2.4                         | 2940    | 1500    | 200      |
| 2.6                         | 4590    | 3000    | $\infty$ |

BAB

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)    |
|-----------------------------|---------|---------|----------|
| 1.6                         | 1455    | 150     | 14       |
| 2.0                         | 1840    | 500     | 15       |
| 2.1                         | 2060    | 700     | 70       |
| 2.2                         | 2390    | 1000    | 100      |
| 2.4                         | 2940    | 1500    | 150      |
| 2.6                         | 4590    | 3000    | $\infty$ |

NEJ

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)    |
|-----------------------------|---------|---------|----------|
| 1.9                         | 1730    | 400     | 25       |
| 2.1                         | 2060    | 700     | 50       |
| 2.2                         | 2390    | 1000    | 50       |
| 2.4                         | 2940    | 1500    | 100      |
| 2.6                         | 4590    | 3000    | $\infty$ |

KRC

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)    |
|-----------------------------|---------|---------|----------|
| 1.6                         | 1455    | 150     | 22       |
| 2.0                         | 1840    | 500     | 40       |
| 2.1                         | 2060    | 700     | 100      |
| 2.2                         | 2390    | 1000    | 170      |
| 2.4                         | 2940    | 1500    | 200      |
| 2.6                         | 4590    | 3000    | $\infty$ |

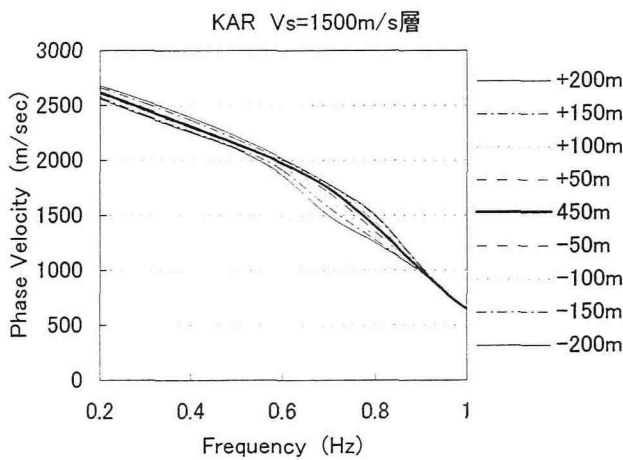
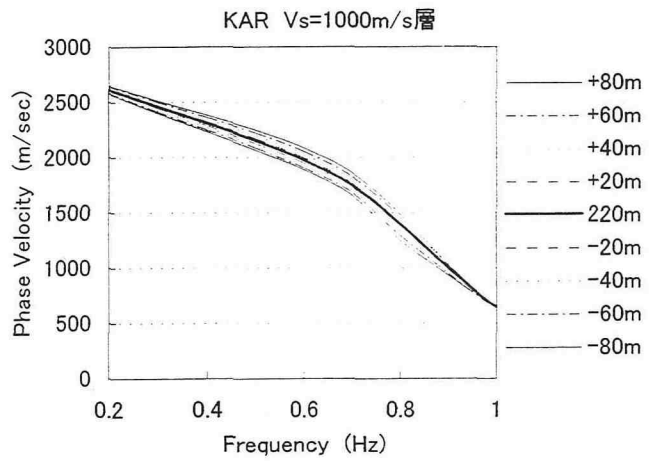
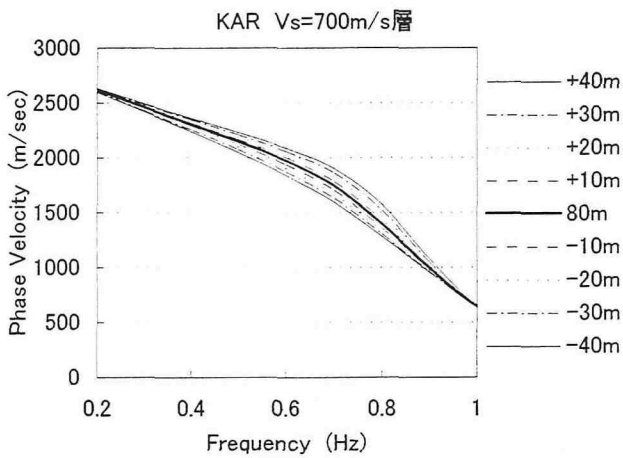
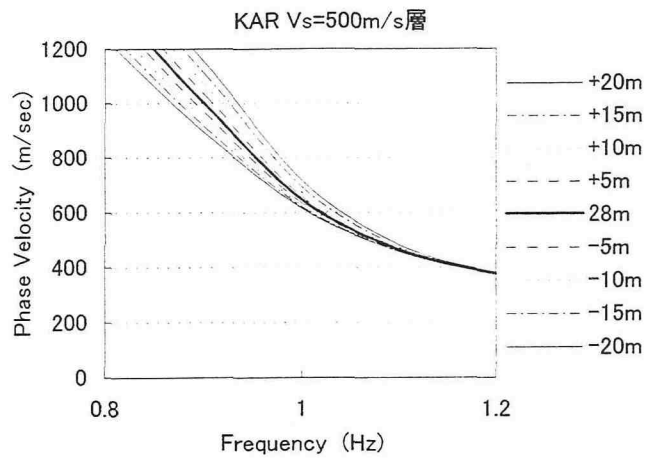
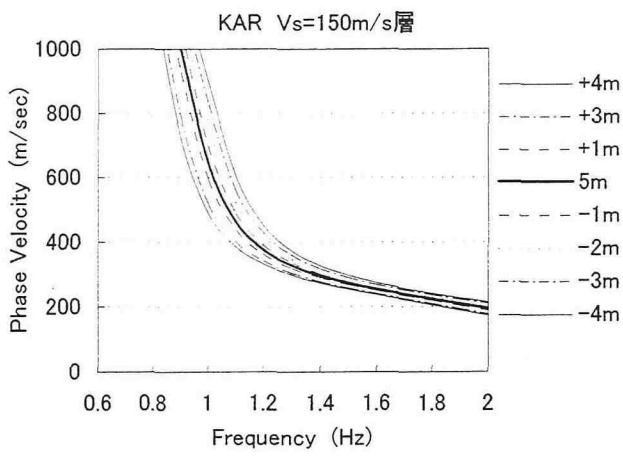


図3-13 モデリングの精度(KARの地盤構造モデルによる)

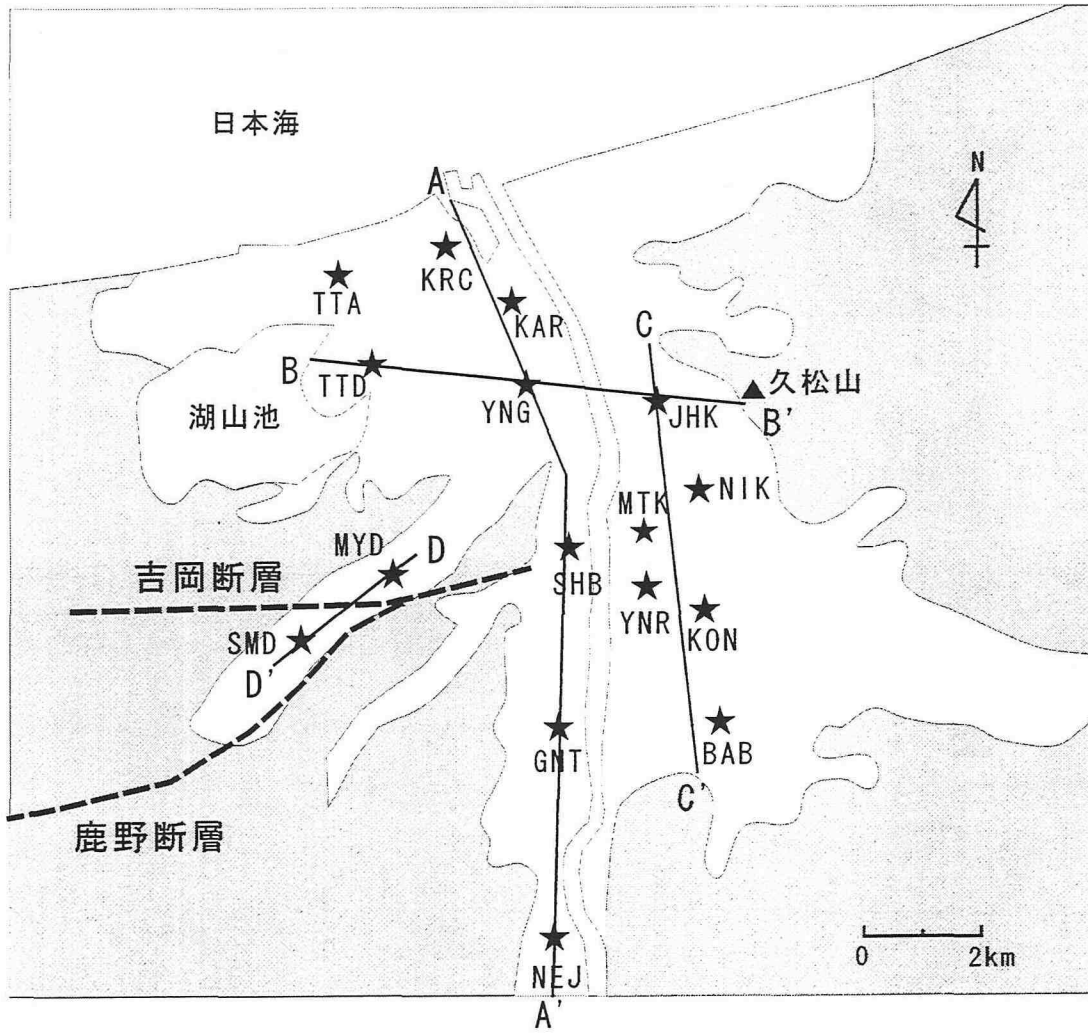


図3-14 S波速度構造の断面位置

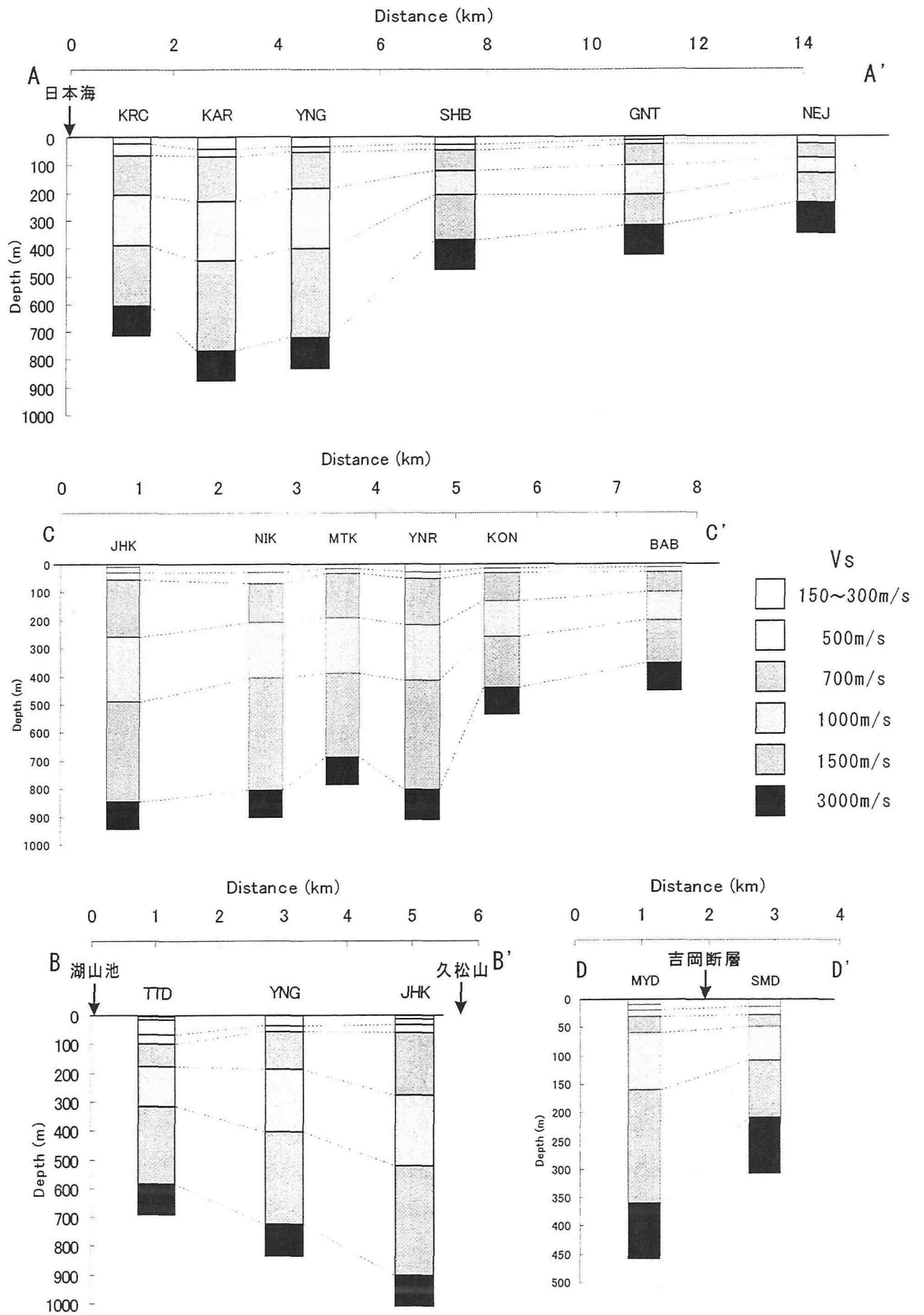


図3-15 S波速度構造の柱状図

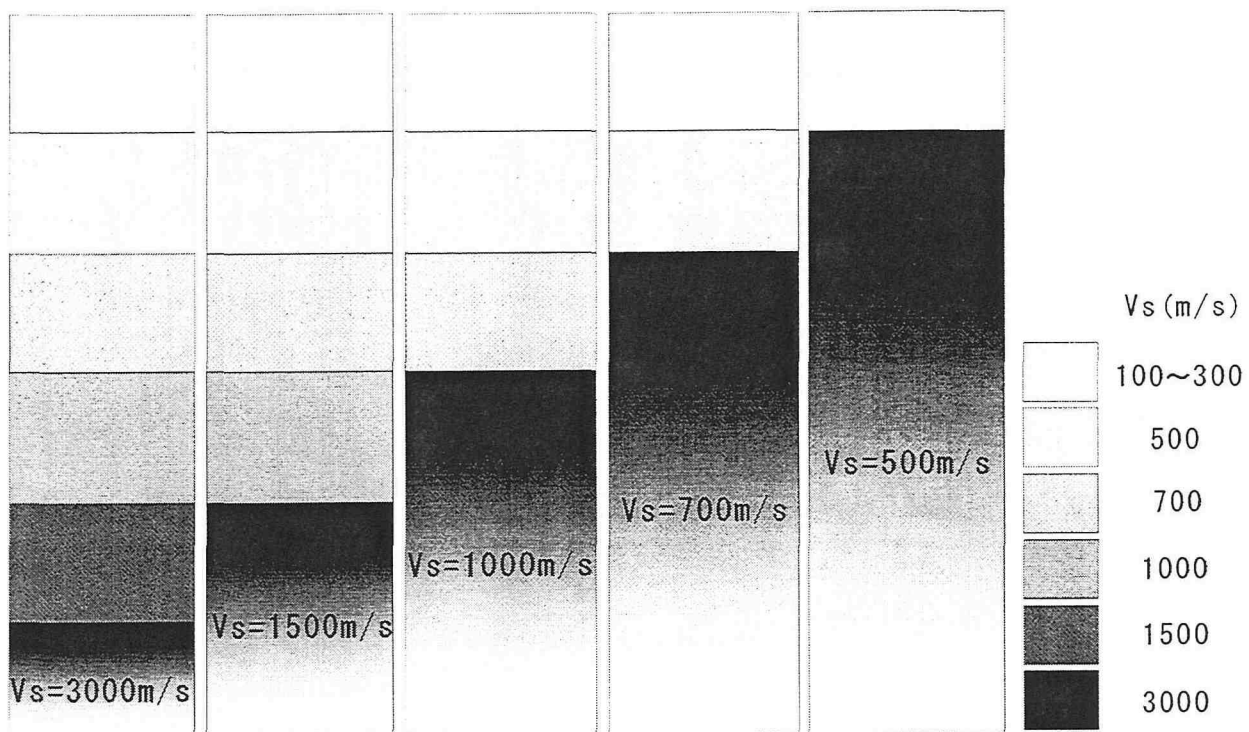


図3-16 レイリー波H/Vの算定に用いる地盤モデルの概念図

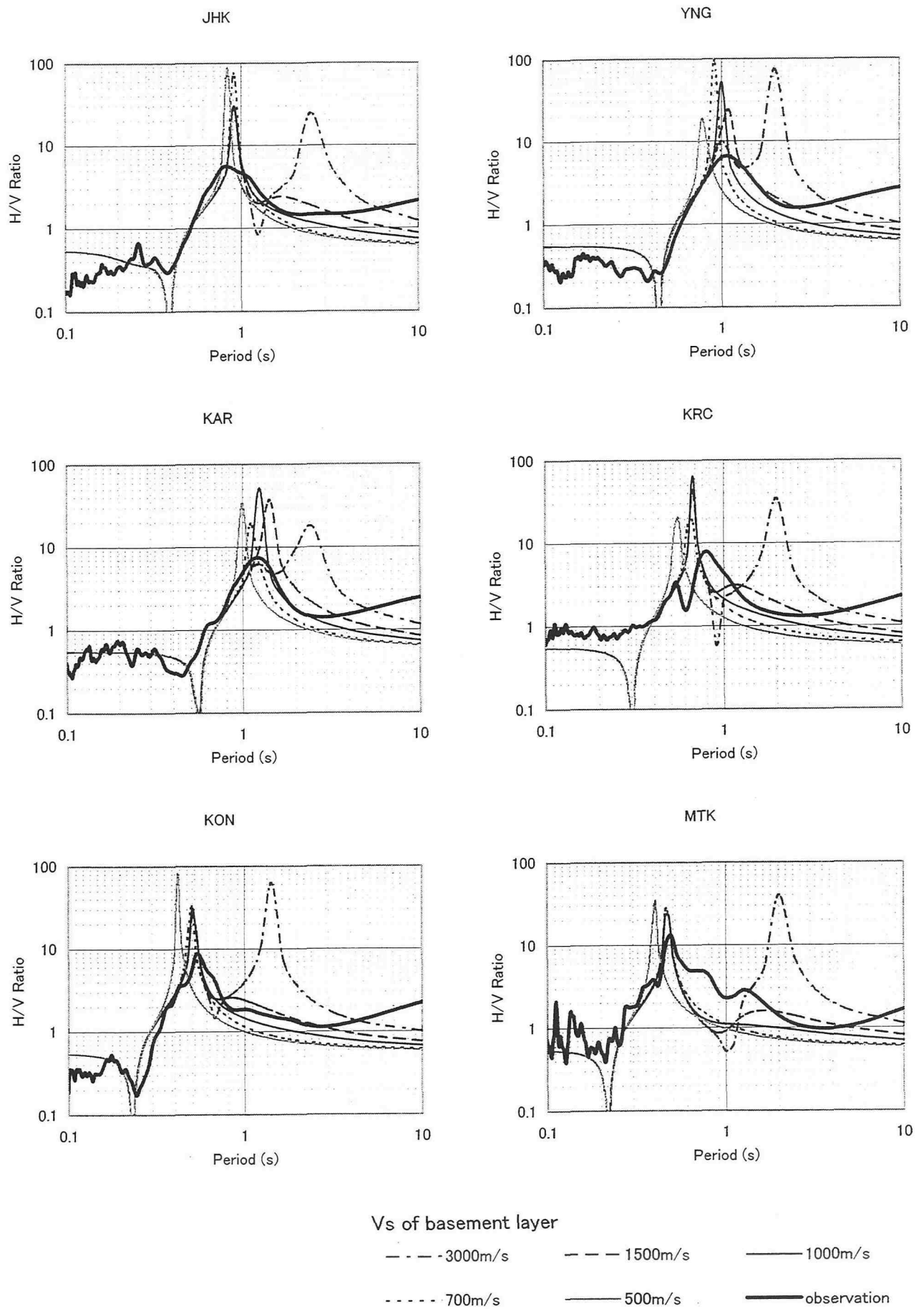


図3-17(1) S波速度構造の各基盤層におけるレイリー波理論H/Vとアレイ中心点における観測H/Vの比較

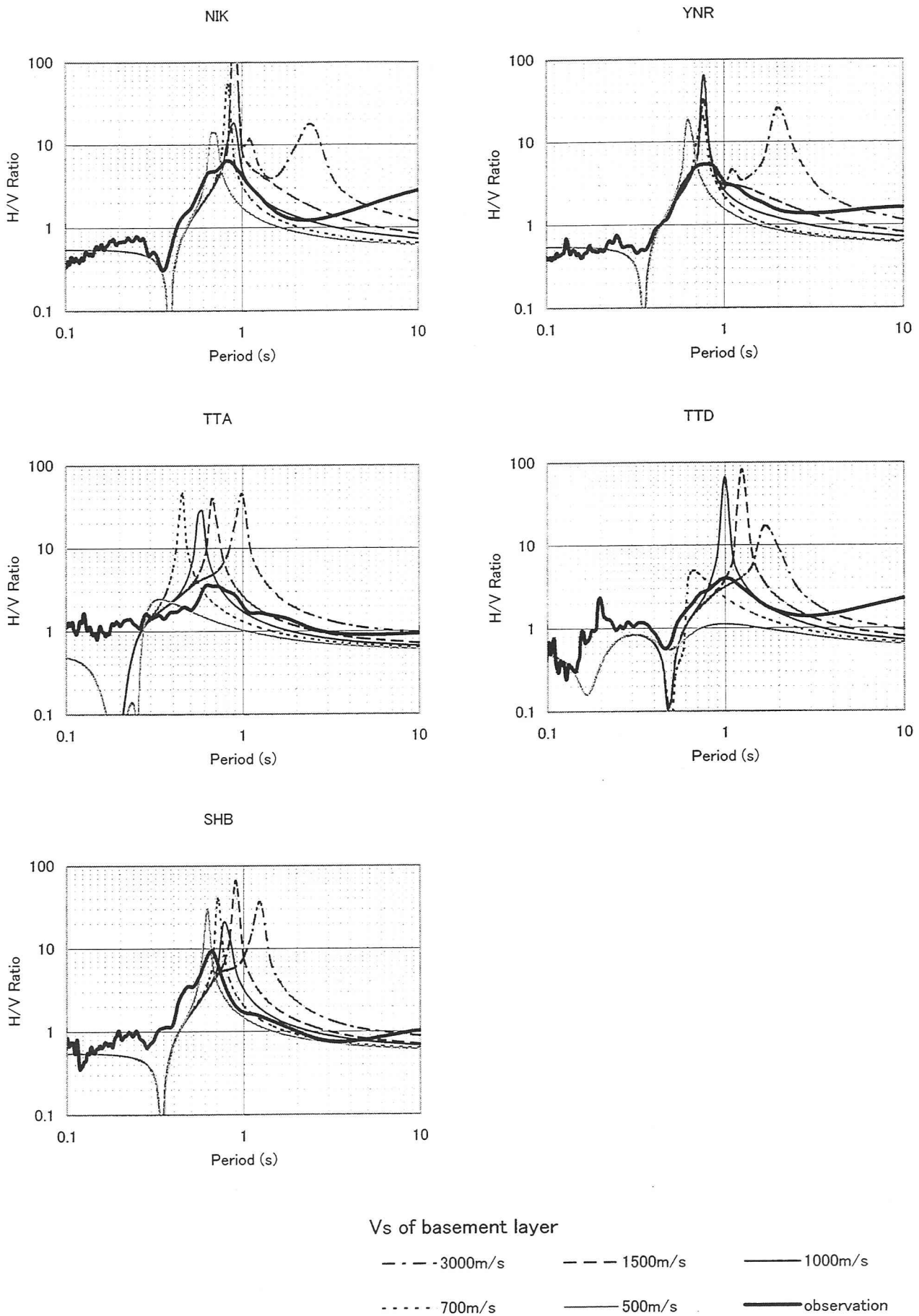


図3-17(2) S波速度構造の各基盤層におけるレイリー波理論H/Vとアレイ中心点における観測H/Vの比較



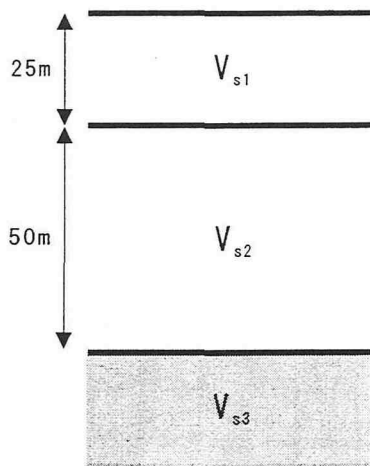
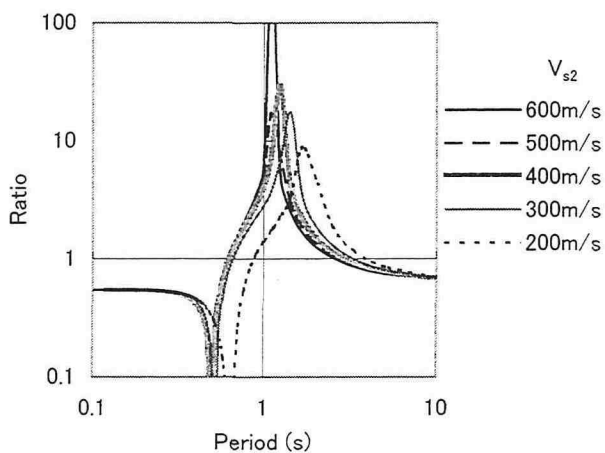


図3-18 3層地盤モデル

表3-5 3層地盤モデルのパラメータ

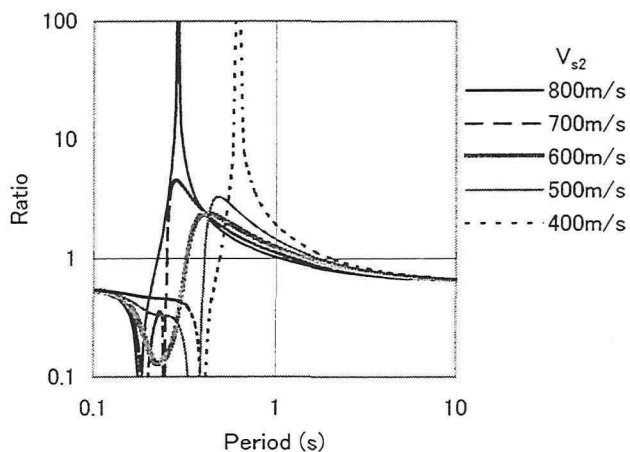
|                 | (a)     |         | (b)     |         | (a), (b)共通 |                             |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|------------|-----------------------------|
|                 | Vp(m/s) | Vs(m/s) | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 層厚(m)      | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) |
| V <sub>s1</sub> | 1400    | 100     | 1620    | 300     | 25         | 2.0                         |
| V <sub>s2</sub> | 1510    | 200     | 1730    | 400     | 50         | 2.0                         |
|                 | 1620    | 300     | 1840    | 500     |            | 2.0                         |
|                 | 1730    | 400     | 1950    | 600     |            | 2.0                         |
|                 | 1840    | 500     | 2060    | 700     |            | 2.0                         |
|                 | 1950    | 600     | 2170    | 800     |            | 2.0                         |
| V <sub>s3</sub> | 2390    | 1000    | 2390    | 1000    | $\infty$   | 2.0                         |

3-Layer Model Case of V<sub>s1</sub>=100m/s



(1)

3-Layer Model Case of V<sub>s1</sub>=300m/s



(2)

図3-19 3層地盤モデルにおけるレイリー波基本モードのH/V

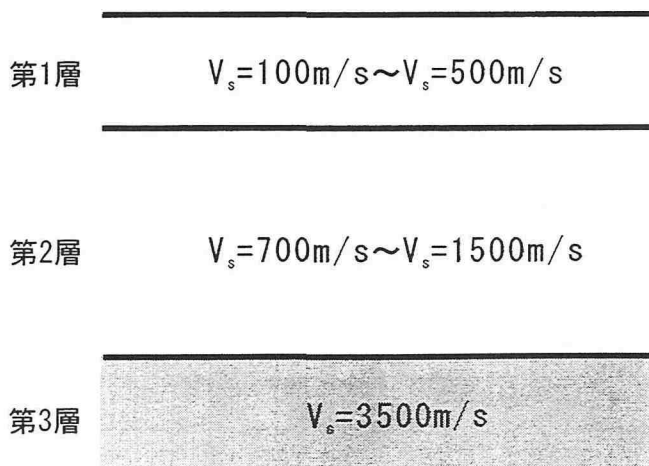


図3-20 鳥取平野の地盤モデルにおける3層地盤モデルの概念

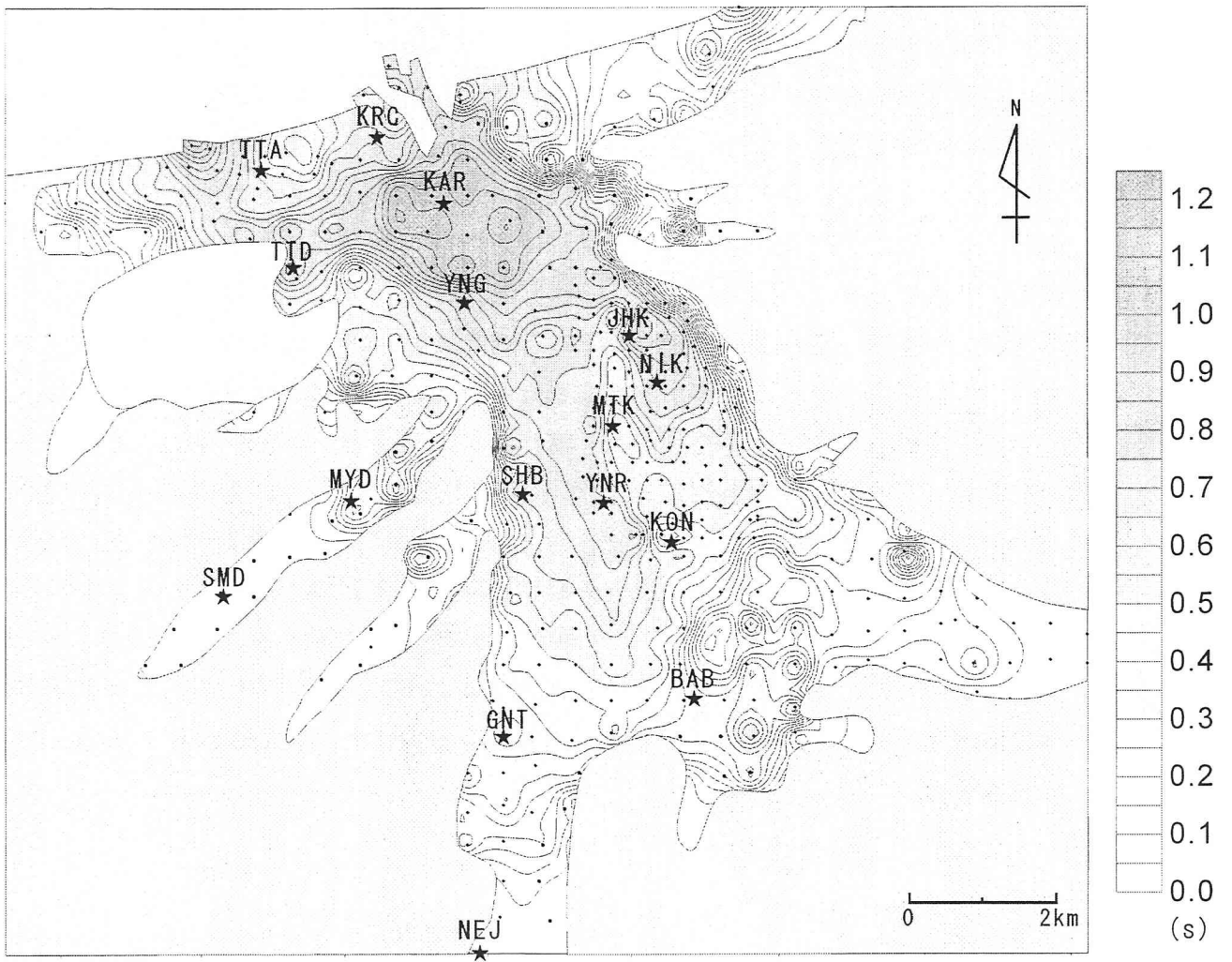


図3-21 H/Vのピーク周期分布

## 4 章 重力探査法による推定

### 4.1 解析方法

#### 4.1.1 基本理論<sup>1)</sup>

地球重力場の圧倒的な部分は地球の全質量による万有引力と、地球の自転によって生じる遠心力との二つの合力からなる標準的な重力場と、地下構造による密度の不均質性から生ずる擾乱場からなり、後者をブーゲー異常という。ここでは、まず重力における基礎事項としてジオイドについて述べ、次に重力場、ブーゲー異常についてふれる。

#### (1)地球楕円体とジオイド

実際の地球は完全な球体ではなく不均一で複雑な形をしており、近似的には、これを赤道半径の方が極半径よりも若干大きい回転楕円体としてとらえている。また、回転楕円体に地球の赤道半径と扁平率とを与え、実際の地球の形、大きさに等しくしたものが地球楕円体である。この地球楕円体の表面に平行な面が水準面であり、重力の方向は常に水準面に垂直である。

静かに横たわっている静水面は一つの水準面を示すが、これは海面の場合には、まず月、太陽の引力による潮汐の影響があり、また各種の原因による波浪の影響があり、決して一つの水準面を示さない。それでも、海岸に検潮場をもうけ長年月にわたって海面の昇降を観測しその平均値をとれば、一つの水準面が決められ、これを平均海面という。次にこの平均海面を陸地に延長することを考える。それには、海岸より地球上の地形をつきぬけるトンネルを掘って海水を導き入れる作業を考えればよい。これを全世界にわたって行ったらと仮定すると、ここに一つの閉じた水準面ができる。これをジオイドという。力学的に言えば、上述の手段で定義されるジオイドは、海域では平均海面と一致する一つの等ポテンシャル面であり、地球楕円体からは数 10～数 100km 程度の波長で凹凸をもっていることになる。

#### (2)重力

地球が地球上に静止している物体をひっぱる力を重力という。この重力とは、地球の全質量による万有引力と、地球の自転によって生じる遠心力との二つの合力である。重力加速度は物体の質量に関係なく一定位置になる。この重力加速度を記号  $g$  で表す。

ここで、地球を半径  $R$  で質量  $M$  の密度が均質な完全なる球体であると仮定する。単位質量をもつ質点が地球上に存在しているとき、この質点に作用している引力  $f_g$  は、

$$f_g = GM / R^2 \tag{4-1}$$

で表される。ここに、 $G$  は万有引力定数であり、

$$G = 6.670 \times 10^{-3} \text{ mGal} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \tag{4-2}$$

である。

地球の自転角速度が  $\omega$  であるとき、その質点が緯度  $\phi$  の地点に置かれているときの遠心力  $f_c$  は、

$$f_c = R\omega^2 \cos \phi \quad (4-3)$$

で表される。重力  $g$  は引力  $f_a$  と遠心力  $f_c$  との合力であるので、

$$g = \sqrt{\{(GM/R)^2 + (R\omega^2 \cos \phi)^2 - 2(GM\omega^2 \cos^2 \phi)/R\}} \quad (4-4)$$

となる。赤道上では  $\phi = 0$  であるので、赤道重力  $g_e$  は、

$$g_e = GM/R^2 - R\omega^2 \quad (4-5)$$

であり、極では  $\phi = \pi/2$  であるので、極重力  $g_p$  は、

$$g_p = GM/R^2 \quad (4-6)$$

である。したがって極重力  $g_p$  は赤道重力  $g_e$  よりも  $R\omega^2$  だけ大きいことになる。これは地球を完全な球体であると仮定した上での話ではあるが、地表の緯度によって重力が異なっているという理由は説明できる。

### (3) 正規重力

正規重力とは地球楕円体での重力である。実際の重力を  $g$  で表すのに対して、正規重力は  $\gamma$  で表す。正規重力を表す式は、1929年にイタリアの測地学者である C.Somigliana によって導かれた。地球楕円体上の緯度が  $\phi$  である地点における正規重力は、赤道での正規重力を  $\gamma_e$ 、極での正規重力を  $\gamma_p$  とすると、

$$\gamma = \frac{a\gamma_e \cos^2 \phi + b\gamma_p \sin^2 \phi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi}} \quad (4-7)$$

となる。

ただし、 $a = 6378160m$  (赤道半径)

$b = 6356744.5161m$  (極半径)

$\gamma_E = 978032.68mGal$  (赤道での正規重力値)

$\gamma_P = 983218.64mGal$  (極での正規重力値)

であるため、一般には以下に示す実用式(測地基準系1980)が用いられている。

$$\gamma = 978032.67715(1 + 0.0052790414 \sin^2 \phi + 0.0000232718 \sin^4 \phi + 0.0000001262 \sin^6 \phi) \quad (4-8)$$

#### (4) ブーゲー異常

ある地域で地下構造が均一であるとすれば、ブーゲー異常は地域的な変化を示さないはずである。たとえ地形に起伏があっても、その重力場への影響は適切な補正計算によってとり除かれるからである。ブーゲー異常の地域的な変化は地質構造の不均一性を示している。

図 4-1 にいくつかの例を示す。例えば(a)密度の大きい鉱床があれば、ブーゲーもその上で大きくなり、鉱床のありかを知るのに役立つ。(b)背斜構造があればブーゲー異常も大きく、油田の調査に応用される。(c)地下にドームがあり、その密度が周囲の岩石より大きければ、ブーゲー異常もドームの上で大きい。ドームが熱源となっているときには、ブーゲー異常は地熱調査に応用される。(d)逆に陥没があって堆積物が厚くおおっていれば、ブーゲー異常は周囲に比べて小さい。(e)断層の走向を直角に横切ってブーゲー異常を求めれば、断層をはさむ両側のブーゲー異常に大きな差が生じる。破碎帯を伴う断層では、周囲に比べて低いブーゲー異常が帯状に長く続く。

地下の密度分布とブーゲー異常との間に定量的な関係が求められれば、ブーゲー異常から地下構造を推定することができる。

#### 4.1.2 各種補正<sup>1)</sup>

##### (1) 器械高補正

重力計が必ずしも既知標高点の測定点に対して同一の高さの場所に設置できないことによる僅かな影響を取り除くため、器械高補正によって測定値を標高点への値に換算する。

器械高補正值  $\Delta h_m$  は次式で表される。

$$\Delta h_m = \beta \cdot h_m \quad (4-9)$$

ただし、 $h_m$  は器械高で単位は  $cm$ 、 $\beta(0.3086mGal/m)$  はフリーエア勾配である。

##### (2) 潮汐力補正

次に月と太陽による潮汐力による影響を取り除く補正、潮汐力補正を行う必要がある。潮汐力補正とは太陽と月の瞬間位置による引力が測定点に及ぼす影響を除去することであり、測定時の天体の位置だけが問題となる。

##### (3) ドリフト補正

重力計内の重りには常に重力が作用している。この為、バネはわずかであるが時間とともに伸びてしまう。このようなバネの劣化現象をドリフトといい、重力計を使用する

上では最も注意しなければならない現象の一つである。このドリフトの影響を補正する必要がある。これは重力既知点から測定を開始し、重力既知点で測定を終了するという形をとれば、重力既知点での値に差が生じる。そして、その差を時間で比例配分してやれば、各測点での値が相対的に決定される。

以上のような過程を経て各測点での絶対重力値を求めることができる。

#### (4) 大気補正

正規重力値の中には大気の質量による引力が含まれている。しかし、地上で測定する場合、測定点より高いところにある大気の引力は全体として0になり引力は及ぼさない。大気補正とは測定点より高い部分の大気を地表面下に凝縮させたときに測定重力値に加算されるべき補正である。大気補正值を  $\delta g_A$ 、測定点の標高を  $h(m)$  とすると

$$C_A = 0.87 - 0.0965 \times 10^{-3} \cdot h \text{ (mGal)} \quad (4-10)$$

となる。

#### (5) フリーエア補正

フリーエア補正は高度補正ともいい、その名のとおり測点のジオイド面からの高さによる影響を補正するものである (図 10)。地球楕円体の外部の点である標高  $h(m)$  のところの標準的な重力値  $\gamma'$  は、標高  $0m$  のところの正規重力値  $\gamma$  に比べ、逆 2 乗則にしたがって減衰する。地球の半径を  $R$  とすれば、 $\gamma$  と  $\gamma'$  の関係は

$$\gamma' = \gamma \frac{R^2}{(R+h)^2} = \frac{\gamma}{(1+h/R)^2} \cong \gamma - \frac{2\gamma}{R} h \quad (4-11)$$

となる。即ち、標高  $h(m)$  のところの標準的な重力値  $\gamma'$  は地球楕円体上の正規重力値  $\gamma$  から

$$\frac{2\gamma}{R} \times h = \beta \times h = 0.3086 \times h \text{ (mGal)} \quad (4-12)$$

を引けば得られ、それをフリーエア補正という。なお、 $\beta (= 0.3086 \text{ mGal/m})$  をフリーエア勾配という。

#### (6) 地形補正

重力測定点の周囲の地形は、つねに平坦とは限らない。地形補正は、測点周辺の地形による引力の影響を補正するものである。測点の近くに山があればその山によって引っ張られることになるし、逆に谷があれば、そこが土で満たされていれば働くはずの引力が存在しないことになる。地形補正とは、測定点付近の地形を、山は削り、谷は埋めて

平らにするということである。その結果、山を削ることで生じる力も谷を埋めて生じる力も下向きの力であることから、地形補正值は常に正の値をとる。

地形補正後の重力値を  $g_T$ 、フリーエア補正後の重力値を  $g_F$ 、地形補正值を  $\rho \cdot T$  とすると

$$g_T = g_F + \rho \cdot T \quad (4-13)$$

となる。

#### (7) ブーゲー補正

ブーゲー補正とは、測点周辺が地形補正を行って平らになった後、測点とジオイド面との間に存在する平板状の地殻物質による影響を除去する補正である。海水準から地表に至る厚さ  $h$ 、密度  $\rho$  の無限平板を考える。その重力効果は

$$-G\rho \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^h \frac{z dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} = -2\pi G \rho h = -0.04192 \rho h \text{ (mGal)} \quad (4-14)$$

で与えられる。

#### (8) ブーゲー異常の算出

測定値から器械高補正、潮汐力補正、ドリフト補正を行って求めたものが絶対重力値である。この絶対重力値に大気補正 ( $C_A$ )、フリーエア補正 ( $\beta \cdot h$ )、地形補正 ( $\rho \cdot T$ )、ブーゲー補正 ( $-2\pi G \rho h$ ) を実施したものと正規重力値 ( $\gamma$ ) との差をブーゲー異常 ( $\Delta g$ ) という。

つまり、ブーゲー異常は、

$$\Delta g = g - \gamma + C_A + \beta \cdot h + \rho \cdot T - 2\pi G \rho h \quad (4-15)$$

で与えられる。ただし、 $G$  ( $6.6730 \times 10^{-3} \text{ mGal} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ) は万有引力定数である。

ここで注意しなければならないのは、フリーエア補正とブーゲー補正はともに地球楕円体上ではなく、ジオイド上の点と測定点との間における高さ、地殻物質による影響を除去するための補正であり、本来ならば  $\gamma$  にジオイド高 (ジオイドと地球楕円体の差) の分が考慮されねばならない。しかし、重力異常の積分量であるジオイドは小振幅の長波長成分の重力効果しか持たないため、重力探査では無視しても構わない。

#### 4.1.3 最適密度の推定方法

ブーゲー補正の際に、調べようとする構造に合わせて仮定密度を与える必要がある。ブーゲー異常は仮定密度  $\rho$  のとり方で地形と相関が異なり、表層密度の推定や表層の影響を除去した基盤構造や沖積層底面形状の抽出等に利用される。図 4-2 に地形に起伏

のある地盤での仮定密度とブーゲー異常のパターンとの関係を示す。仮定密度が大きくなるにつれて、ブーゲー異常が全体的に小さくなり、地形の形状のパターンに対して負の相関になっていくことがわかる。結局地形と無相関になる場合が最適な表層密度を示すことになる。

### (1) 岩石試料の密度測定による方法<sup>1)</sup>

調査地域に分布する岩石を採取して密度測定を行うものである。岩石の分布面等より適当な加重平均など適切な操作を行うことが望ましい。

岩石は種々の重量測定を行い、次式から2種類の密度を求める。

$$\rho_d = \frac{W_3}{W_1 - W_2} \quad (\text{自然乾燥密度}) \quad (4-16)$$

$$\rho_w = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \quad (\text{強制湿潤密度}) \quad (4-17)$$

$W_1$ : 試料を自然気圧下で24時間以上水に浸した(強制湿潤)後表面のみを布等で付着水を拭き取った状態での空中重量。

$W_2$ : 強制湿潤状態での水中重量。

$W_3$ : 試料を室内(常温)で数日間放置した状態での空中重量。

### (2) CVUR 法<sup>2)</sup>

CVUR (Comparison of Variance of Upward - Continuation Residual) 法では様々な仮定密度のブーゲー異常から上方接続残差をとり、各仮定密度での分散を求めて比較する方法である。格子状のメッシュ点  $p(i, j)$  の仮定密度  $\rho$ 、接続面  $h$  の上方接続フィルター(後述)を通したブーゲー異常を  $g_p(\rho, h)$  とおく。ここで、2面の上方接続フィルター値の差(残差重力値)から決まる分散値  $a_p^M(\rho; h_1, h_2)$  を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} a_p^M(\rho; h_1, h_2) &= \sum_q w_q \{g_{p-q}(\rho, h_1) - g_{p-q}(\rho, h_2) - g_p^M\}^2 / \sum_q w_q \\ &= \sum_q w_q \{\Delta g_{p-q}(\rho; h_1, h_2) - g_p^M\}^2 / \sum_q w_q \end{aligned} \quad (4-18)$$

ここに

$M$ : サンプル半径

$q$ : 点  $p$  からのベクトル差をもつ、コンボリューションパラメータ ( $|q| \leq M$ )

$w_q$ :  $\exp(-q^2/M^2)$  なる値をとるウェイト

$g_p^M$ : 計算領域の残差重力値の加重平均



$$g_F^M = \sum_q^M w_q \{g_{p-q}(\rho, h_1) - g_{p-q}(\rho, h_2) - g_p^M\} / \sum_q^M w_q \quad (4-19)$$

また推定誤差については

$$\text{推定誤差 } \delta\rho = \delta g / 2\pi G \delta h = 24 \delta g / \delta h \quad (4-20)$$

$G$  : 万有引力定数

$\delta h$  : 地形の起伏度 (標準偏差)

$$\delta g = \sqrt{\min i(a_p^M)} \quad (4-21)$$

$$\Delta g(x, y; h_1, h_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x-\xi, y-\eta) w(\xi, \eta; h_1, h_2) d\xi d\eta \quad (4-22)$$

である。

さらに、2面の上方向接続残差は

であり、ウエイト  $w$  は

$$\Delta g(x, y; h_1, h_2) = \int_0^1 \int_0^1 \left\{ \exp(-\sqrt{m^2 + n^2} \cdot h_1) - \exp(-\sqrt{m^2 + n^2} \cdot h_2) \right\} \cos mx \cdot \cos ny dmdn \quad (4-23)$$

分散が最小になる密度が表層の最適密度となる。(ただし  $Z = h_1 < h_2$ )

#### 4.1.4 フィルタリング<sup>1)</sup>

フィルタリングは、重力異常から有為な情報を抽出し、定性的な解析・解釈を進めるのに有効な手法である。ここでは、大規模・深部構造に対応する長波長成分を抽出するローパスフィルター、2つのローパスフィルターを組み合わせる事で注目する規模・深度に対応した成分を抽出するバンドパスフィルターを使い、深部と浅部におけるブーゲー異常の傾向を把握する。

重力値  $g$  に適当なウエイト関数を用いて他の関数  $f$  を表すと

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x-\xi, y-\eta) w(\xi, \eta) d\xi d\eta \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(\xi, \eta) w(x-\xi, y-\eta) d\xi d\eta \end{aligned} \quad (4-24)$$

となる。ここで  $w(x, y)$  がインパルス関数であれば  $f = g$  となる。インパルス関数は

$$w(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(jmx + jny) dmdn \quad (4-25)$$

となり、 $w$  が重力場に関わっていることから、 $x, y, z$  によるラプラス方程式をみたす一般解  $w(x, y, z)$  は

$$w(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(jmx + jny - \sqrt{m^2 + n^2} z) dmdn \quad (4-26)$$

となる。  $w(x, y, z)$  を実数表現にし、等間隔標本点での条件を満たすには、積分範囲は有限にするにするため

$$w(x, y, z) = \int_0^1 \int_0^1 \cos mx \cdot \cos ny \cdot \exp(-\sqrt{m^2 + n^2} z) dmdn \quad (4-27)$$

となる。ただし標本点は  $x = i\pi, y = i\pi$  なる離散点である。  $f = g$  のとき

$$\begin{aligned} g(x, y) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta \cdot \int_0^1 \int_0^1 \cos mx \cos ny dmdn \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta \cdot \frac{\sin \xi}{\xi} \cdot \frac{\sin \eta}{\eta} d\xi d\eta \end{aligned} \quad (4-28)$$

となる。

フィルターをかける場合、(4-25)式のウェイト  $w(x, y, z)$  を操作すればよい。以下にその代表的な算出表現である上方接続フィルター（ローパスフィルター）、上方接続を用いたバンドパスフィルターを示す。

#### (1) 上方接続フィルター（ローパスフィルター）

ローパスフィルターで、地下深部の構造や大きな構造を見やすくする。

$$w(x, y) = \int_0^1 \int_0^1 \exp(-\sqrt{m^2 + n^2} \cdot h) \cdot \cos mx \cdot \cos ny \cdot dmdn \quad (4-29)$$

（ただし  $z = h$  としている）

#### (2) 上方接続フィルターを用いたバンドパスフィルター（ただし $Z = h_1 < h_2$ ）

2つの上方接続の組み合わせで、適当な特性のフィルターを作るもので、Komazawa(1995)による CVUR 法はこれを用いている。

$$w(x, y) = \int_0^1 \int_0^1 \left\{ \exp(-\sqrt{m^2 + n^2} \cdot h_1) - \exp(-\sqrt{m^2 + n^2} \cdot h_2) \right\} \cos mx \cdot \cos ny dmdn \quad (4-30)$$

#### 4.1.5 2次元定量解析<sup>1)</sup>

表層と基盤の密度差をもとに、密度差のある境界面の起伏を2次元定量解析によって求める。この作業により、鳥取平野の基盤の形状を断面的に推測する。

均質2層構造において、 $\rho$  を表層と基盤層の密度差とする。観測値  $g^{res}$ （トレンドを除去）と反復修正法による第  $n$  回目のモデル構造の深度  $D^{(n)}$  による計算値  $\Delta g^{(n)}$  との差を

$$D^{(n-1)} = D^{(n)} + \lambda \cdot (\Delta g^{(n)} - g^{res}) / 2\pi G \rho \quad \text{ただし } \lambda = 0.5 \sim 1 \quad (4-31)$$

によるブーゲー板に換算して補正していく。これは、観測重力値と計算重力値の差の大小に応じて直下の高密度層の深度を上下させ、地下構造モデルによるブーゲー異常値と実際のブーゲー異常値をフィッティングすることにより、密度による基盤構造の形状を算出するものである。

#### 4.1.6 3次元モデル解析<sup>13)</sup>

地下構造を角柱の集合体として考え、個々の角柱の計算重力値を合計することによって計算点における計算重力値を求める。つまり  $x$ ,  $y$  方向の格子間隔をそれぞれ  $u$ ,  $v$  とおき、格子点の座標を

$$\begin{cases} x_i = iu \\ y_j = jv \end{cases} \quad (4-32)$$

とする。また、半無限角柱

$$\begin{cases} (m-0.5)u \leq x \leq (m+0.5)u \\ (n-0.5)v \leq y \leq (n+0.5)v \\ D_0 \leq z \leq D_{mn} \text{ (or } D_{mn} \leq z \leq D_0) \end{cases} \quad (4-33)$$

による計算点  $(x_i, y_j, z)$  での計算重力値  $Z_{ij}^{mn}(z, D_{mn})$  を以下の方法で算出する。つまり、

$$Z_{ij}^{mn}(z, D_{mn}) = \begin{cases} F(\xi_+, \eta_+) - F(\xi_+, \eta_-) - F(\xi_-, \eta_+) + F(\xi_-, \eta_-) & (4-34) \\ (|i-m| \leq 3 \text{ and } |j-n| \leq 3: \text{角柱の厳密式}) & (4-35) \\ uv / \sqrt{r^2 + \zeta^2} & \\ (|i-m| > 3 \text{ or } |j-n| > 3: \text{線密度近似}) & \end{cases}$$

ただし、

$$\xi_{\pm} = (i-m \pm 0.5), \eta_{\pm} = (j-n \pm 0.5), \zeta = |z - D_{mn}|, r^2 = (i-m)^2 u^2 + (j-n)^2 v^2$$

$$\begin{aligned} F(x, y, z) &= - \iiint \frac{z dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \\ &= x \ln \left| \frac{y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right| + y \ln \left| \frac{x + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{\sqrt{y^2 + z^2}} \right| \\ &\quad - z \tan^{-1} \times \left( \frac{xy}{z \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right) \end{aligned} \quad (4-36)$$

境界面が  $(x_i, y_j, D_{mn})$ 、密度が  $\rho_{mn}$  のとき、点  $(x, y, z)$  での計算重力値  $\Delta g_{ij}(z)$  は

$$\Delta g_{ij}(z) = G \sum_m \sum_n \rho_{mn} \{ Z_{ij}^{mn}(z, D_{mn}) - Z_{ij}^{mn}(z, D_0) \} \quad (4-37)$$

ただし、 $D_0$ ；基準面の標高値  
で与えられる。

地下構造( $x_i, y_j, D_{ij}$ )を求めるためには、(4-31)式に示した反復修正法を行う。

## 4.2 観測の実施およびデータ処理

重力調査は、鳥取平野については①500m メッシュの格子点上<sup>4)</sup>及び②鳥取砂丘内を100m メッシュで400点<sup>5)</sup>、③鳥取市街地東西約2km、南北約5kmの範囲を200~300m間隔で197点<sup>6)</sup>、④吉岡温泉地内において50~200m間隔で192点<sup>7)</sup>、⑤平野西域山地~鹿野地域<sup>8)</sup>489点、⑥鳥取平野周辺山地<sup>9)</sup>43点で実施されている。これらのデータに、今年度⑦吉岡・鹿野断層上とその周辺の山地を296点で調査した結果、⑧名古屋大学グループから提供を受けたデータ34点分を足し合わせて、以後の解析に用いた。観測点位置を図4-3に示す。すべての点で重力計はラコスト・ロンバーグ重力計G型を用いている。①②⑦の調査では鳥取大学の重力既知点を基準点として閉塞観測を行っており、①②⑦の標高は基準局と移動局の同時測量によるディファレンシャルGPS(Magellan, ProMARK X-GM)測量によって1m以内の精度、④⑦⑧の標高は水準測量によってcmオーダーの精度で決められている。全観測点の観測点の緯度、経度、標高、絶対重力値を付録表4-1に示す。

以後のデータ処理および各種解析には、駒澤<sup>1)2)10)</sup>による計算プログラムを用いた。地形補正に必要な地形データには国土地理院発行の4km・1km・250m・50mメッシュの数値地図を利用している。①②⑤⑦のデータは50mメッシュ地形データを用いて地形補正を施した。③④⑥⑧のデータは位置・標高の決定に地形図を用いたものが多く(位置決定方法の情報も曖昧)、①②⑤⑦に比べ精度が悪いことが予想される。よって、50mメッシュの地形データを利用すると、余計な補正を施す可能性があることから、250mメッシュ地形データによる地形補正とした。

## 4.3 密度構造の推定

### 4.3.1 最適密度の推定

ブーゲー異常は仮定密度によって、その変化に違いが生じ地形との相関が異なってくる。よって、地下構造推定の要求に応じて最も適した仮定密度を選定する必要がある。本研究では平野部の基底面形状を抽出することが目的であるので、基盤岩層の密度を求めることになる。平野を囲む山地の基盤岩層が堆積層下に潜り込んでいると考えられるので、平野周辺における山地の表層密度について推定を行う。本研究では、CVUR法による計算結果と岩石のサンプル採取による密度測定の結果<sup>9)</sup>(表2-5)から最適密度を推定した。

CVUR法の計算には、1000mの上方接続フィルターによる残差重力異常を用いて、表層密度を推定した。密度を求める地点を平野周辺の山地において、平野の東域(N35° 31.0' ,E134° 16.0' ), 西域(N35° 28.0' ,E134° 8.5' ), 南域(N35° 26.5' ,E134° 16.5' )の3点設定した(図4-3の★印)。その結果を図4-4に示す。この図の曲線の極小値になるときの仮定密度を読み取ればよい。東域では2.38g/cm<sup>3</sup>, 西域では2.42g/cm<sup>3</sup>, 南域では2.21g/cm<sup>3</sup>という計算結果になった。

西域の山地で実施された岩石採取による密度測定結果(表2-5)によれば、試料全体の乾燥密度の平均が2.59 g/cm<sup>3</sup>である。ただし、図2-2(2)の表層地質図から変成岩の地域は平野縁辺から約4km離れた南方に分布しており、本研究における探査深度の範囲内では基盤として構成されていないと考えられる。そこで、変成岩を除いた乾燥密度の平均をみると約2.5 g/cm<sup>3</sup>である。また、岩石サンプルは風化が少なく新鮮であるため、その密度値が表層密度の上限値を与える場合が多いとの指摘もある<sup>1)</sup>。これらのことを参考にすれば、CVUR法の結果は妥当な値であると考えられる。

ここで、地質分布をみると、東域と西域では新第三系と古第三紀以前が混在しているのに対し、南域では新第三系(普含寺泥岩層・円通寺礫層砂層)が大半を占める。表2-5をみると、新第三系の平均乾燥密度は2.50g/cm<sup>3</sup>(平均湿潤密度2.53 g/cm<sup>3</sup>)で、古第三紀以前の花崗岩・中生代火山岩類の2.61g/cm<sup>3</sup>(平均湿潤密度2.63 g/cm<sup>3</sup>)に対して小さい値を示す。また、CVUR法の計算結果も約0.2 g/cm<sup>3</sup>小さくなる。よって、南域山地の表層密度は小さいことが推測される。

これらの結果から、鳥取平野を囲む山地の平均的な表層密度はおおよそ $\rho=2.4\text{g/m}^3$ 程度であると推定できる。よって、仮定密度を2.4g/cm<sup>3</sup>として以下の節で議論を進めていくことにする。

#### 4.3.2 重力異常による基盤構造推定

##### (1)ブーゲー異常の特徴

4.3.1の結果から鳥取平野の基盤密度は2.4 g/cm<sup>3</sup>であると推定できた。仮定密度を2.4g/cm<sup>3</sup>ブーゲー異常のコンターマップを図4-5に示す。まず、ブーゲー異常の特徴をみていくことにする。全体の傾向として南域から北域にかけてブーゲー異常が高くなっている。細部の傾向を見ると、概ね山地から平野にかけてブーゲー異常が低くなる。海岸部と湖山池の中央部に高異常地域がみられる。吉岡断層付近の谷は断層上(断層の北域)に低異常地域がみられる。

このブーゲー異常からフィルター処理をして目的に応じた地下構造の情報を抽出する必要がある。野崎<sup>10)</sup>によれば、探査可能な深度は調査範囲距離の約1/10程度であるとされている。これに従えば、本研究の対象地域は東西に約10km、南北に約10kmの地域

であることから、探査可能な深度は約 1km 程度であると考えられる。そこで、1000m の上方接続フィルターを用いることにより、探査地域の地下構造を推定する。

1000m の上方接続を施したブーゲー異常コンターマップを図 4-6 に示す。この図から深部の地下構造の影響を反映したトレンド成分(地域異常)の様子がわかる。その特徴をみると次のようになる。平野の南部と鹿野断層付近に低異常域、湖山池、海岸付近に高異常域がみられる。平野部に着目すると南域から北域にかけ高異常の傾向がみられる。

本研究の目的は、このブーゲー異常から平野の地盤構造を推定することである。よって、対象とする基盤面(地表から数百 m～数 km)を推定するには、深部構造の影響をとり除く必要がある。そこで、短波長ノイズ成分の除去のために 50m、深部構造の影響による長波長成分除去のために 1000m の上方接続フィルター用いて(バンドパスフィルターとして)残差重力異常値を求めた。この処理によって基盤形状などの局所異常の把握が期待される。ただし、重力異常の長波長成分が深部構造の影響のみに依存しているとの前提である。すなわち、浅部構造の影響(ならだらかな傾斜など)によっても、長波長成分として現れている可能性があることに注意が必要である。

その残差重力値のコンターマップを図 4-7 に示す。この図をみるとその分布は次のように解説できる。図 4-5 同様、海岸部に高異常域、南域には低異常域が分布している。海岸部の高異常域に隣接するように低異常域がみられ東域に伸びて盆地状になっている。東域の高異常域(久松山付近)から低異常域の平野部にかけて急激な落ち込みがみられる。湖山池の北域、鳥取砂丘付近に低異常域。吉岡断層の走る地域は低異常域である。これらの分布は平野部に限れば、概ね 3 次元的な基盤深度の分布を示していると考えられる。すなわち、ブーゲー異常が図 4-1 での(d)や(e)のパターンの様に基盤の盆地構造、段差構造を表現していると考えられる。よって、図 4-7 の解説での低異常域→基盤が深い、高異常域→基盤が浅いということになる。しかし、基盤密度が本対象地域で一定であるとは限らない。つまり、基盤密度自体が低密度である場合でも低異常を示すからである。低異常の原因が基盤深度の陥没なのか、基盤密度の低下なのかは、この重力異常だけでは判断できない。

## (2)密度構造の 2 次元自動解析

ブーゲー異常分布から鳥取平野の大略的な基盤構造を 3 次元的に把握できた。これらの基盤構造を定量的に求めるために、密度差を与えた表層と基層よりなる均質な 2 層構造を仮定して、2 次元自動解析より境界面形状を推定する。ここでは、浅部構造の影響で重力異常の長波長成分が現れている可能性も否定できないため、もとのブーゲー異常を利用する。なお、この計算の拘束条件としては、基盤の露頭地点(山地と堆積層の境界；基盤深度 0m)を与え、図 4-3 に示した a-a'断面の推定を行う。この断面は市街地を通

り、平野部をほぼ東西方向に切るような断面である。堆積層と新第三紀層を合わせた表層の密度が  $2.0\text{g/cm}^3$  程度であると想定して、表層と基層の密度差を  $0.4\text{g/cm}^3$  とした。その結果を図 4-9 に示す。

図 4-8 の上図はブーゲー異常を示し、その断面における実測値と推定した構造から計算される値の一致をみて、計算されたモデルの評価をする。下図は計算された密度構造モデルで地形と 2 層構造の境界面を表している。推定された密度構造モデルをみると、基盤深度は最深部で約 350m に達することが分かる。また、基盤形状は西縁の 0km～3.5km までは緩やかな傾斜で基盤深度が深くなり、3.5km～4km にかけて急激に浅くなっている。ブーゲー異常の変化は基盤形状の変化に対してかなり鈍感であるため、実際の基盤形状は東縁の 3.5km～4km より急変している可能性がある。そのように考えると、鳥取市街地を横切る a-a'断面では基盤面がちょうど東落ちのクサビ型をしたような形状を呈している。

#### 4.4 まとめ

本章では重力探査法の解説と鳥取平野での適用探査結果を述べた。重力調査は既往の研究により鳥取平野とその周辺地域を 1000 地点で実施されており、それらのデータを統合して解析を行った。その結果、次のような結果を得た。

- (1) 岩石密度測定値及び CVUR 法の計算結果から、鳥取平野の基盤密度が  $2.4\text{g/cm}^3$  であることがわかった。
- (2) フィルター処理を施したブーゲー異常から鳥取平野の 3 次元的な基盤形状を把握することができた。海岸付近には基盤の浅い地域、その地域と沿うような基盤の深い盆地状地域、久松山から平野部にかけての急激な基盤の落ち込みなどの特徴がみられた。
- (3) 2 次元自動解析により平野を東西に横切る断面の密度構造を推定することができた。基盤の最深部は約 350m で、東落ちのくさび型のような形状を呈することがわかった。

このように重力探査法を適用することによって、鳥取平野の地盤構造を 2 次元、3 次元に推定することができた。しかし、重力異常は地下深部の構造の影響も含まれていること、地質的な側面から鳥取平野の基盤密度が均質ではない可能性があるなどの問題が残った。5 章の微動探査結果との総合解析では、この問題についての検討を含め、より詳細な地盤構造の推定を試みる。

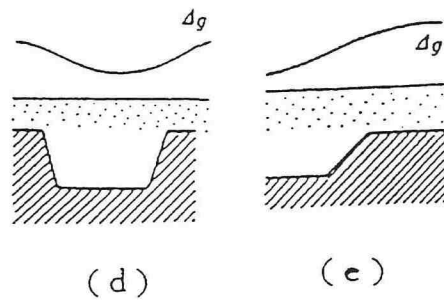
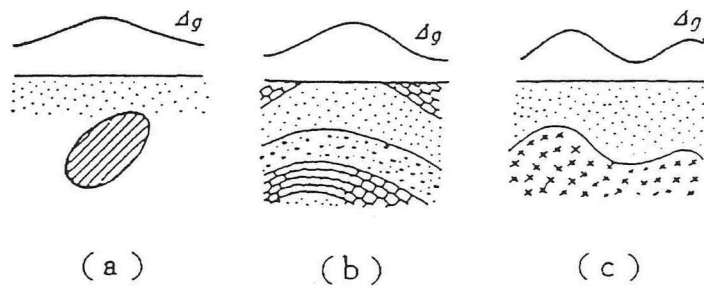
#### 参考文献

- 1) 物理探査学会編(駒澤正夫担当)：物理探査ハンドブック手法編第 6 章重力探査，pp431-472，1998。
- 2) Komazawa. M, Gravimetric Analysis of Volcano and its Interpretation, J. Geod. Soc.

Japan, Vol.41-1, 17-45, 1995.

- 3) 駒澤正夫：北鹿地域の定量的重力解析について，物理探鉱，37-3，pp19-30，1984.
- 4) 西田良平，宗藤航，中村博昭，上田哲也，西山浩史，野口竜也：鳥取平野における重力測定による地下構造解析，第53回土木学会中国支部研究発表会概要集，I-48，pp95-96，2001.
- 5) 宗藤航：鳥取砂丘における重力調査，鳥取大学卒業論文，2000.
- 6) 中川一郎，東敏博，竹本修三：鳥取温泉保全調査-重力及び電気探査-報告書，pp3-14，1993.
- 7) 鳥取県：温泉保全調査報告書(8)-吉岡温泉-，pp33-37，1999.
- 8) 日本地熱資源開発促進センター(財)：地熱開発基礎調査報告書 No.10 鹿野・松崎そのII，pp7-21，1977.
- 9) 駒澤正夫，広島俊男，石原丈実，村田泰章，山崎俊嗣，上嶋正人，牧野雅彦，森尻理恵，志知龍一，岸本清行，木川栄一，三品正明：地質調査所重力測定値データファイル，日本重力 CD-ROM，数値地質図 P-2，地質調査所，2000.
- 10) 野崎京三：マイクログラビティ探査の現状とその利用，応用地質技術年報，No.19，pp35-60，1997.





(a) 密度の高い鉱床 (b) 背斜構造 (c) ドーム  
(d) 陥没した基層 (e) 断層

図4-1 ブーゲー異常と地下構造の関係

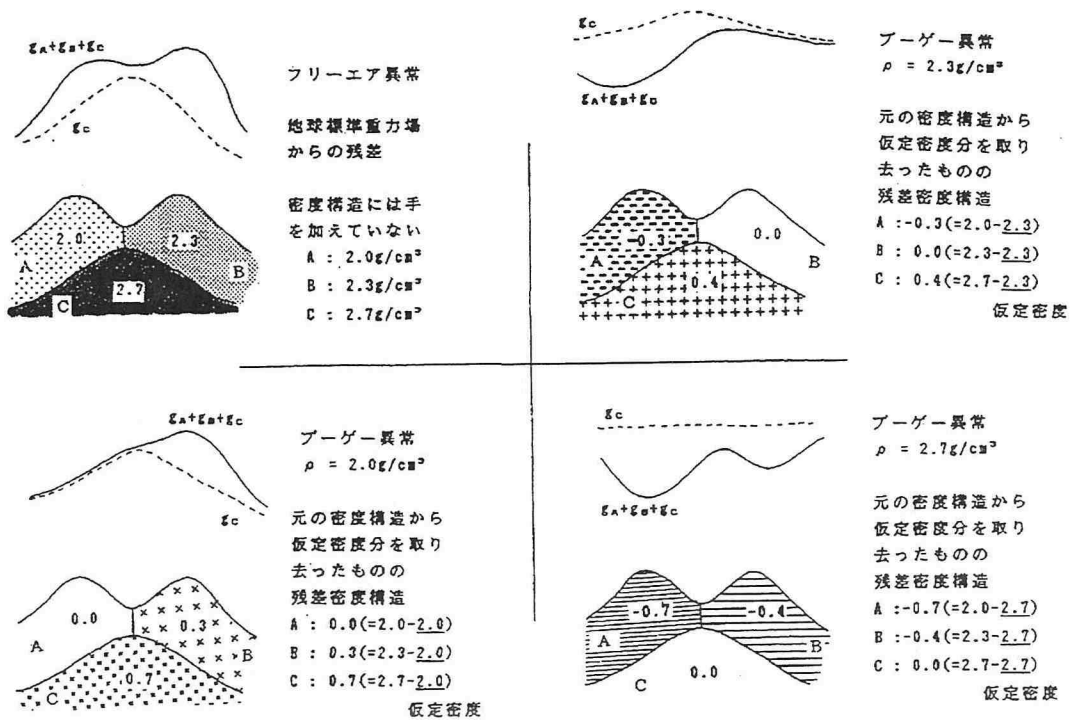


図4-2 仮定密度によるブーゲー異常のパターン変化の概念図

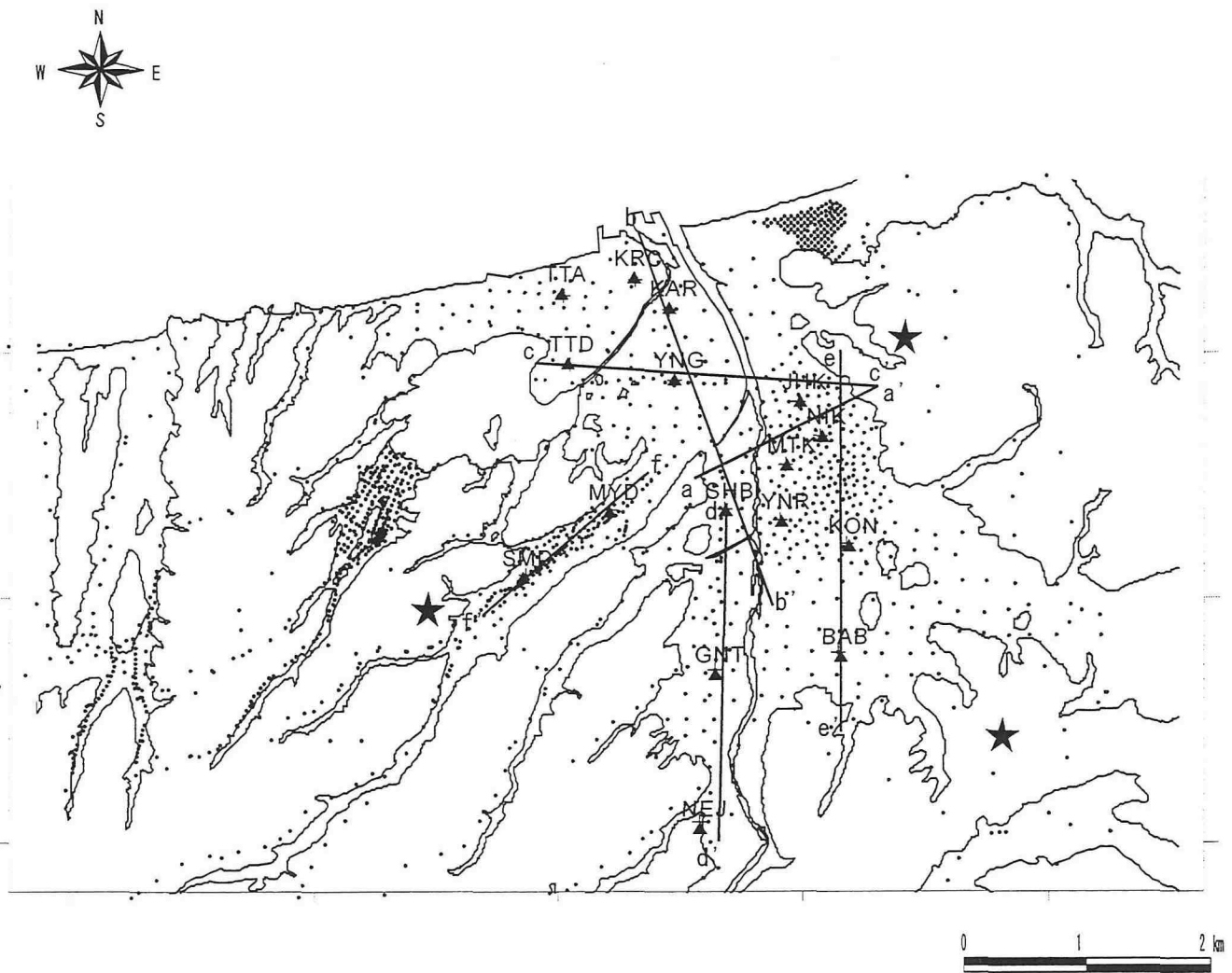
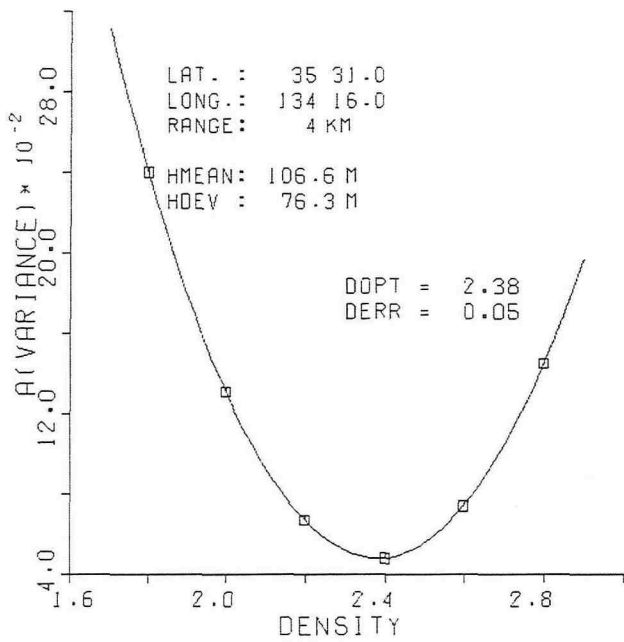
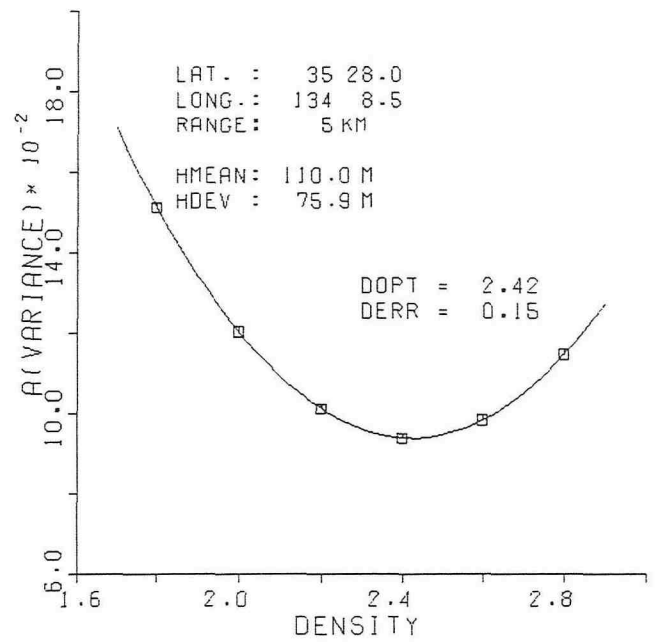


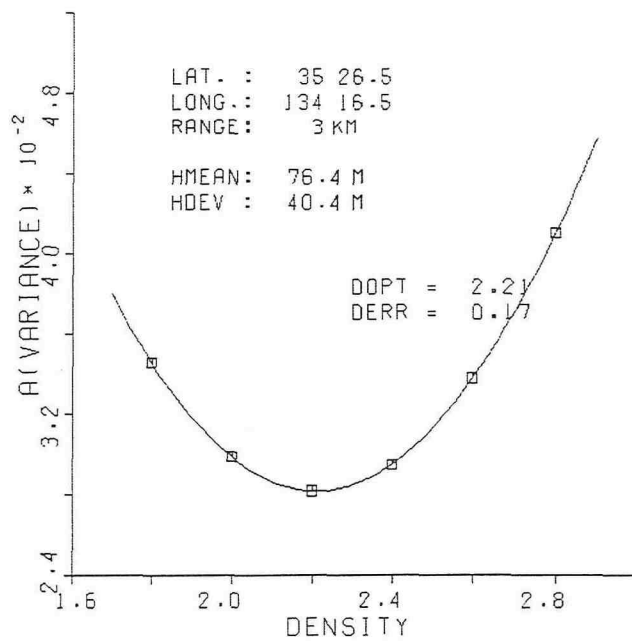
図4-3 重力観測点の位置，プロットは観測点位置，  
 実線は2次元定量解析の断面位置，★はCVUR法を適用した地点。



(1) 東域



(2) 西域



(3) 南域

図4-4 CVUR法の計算結果

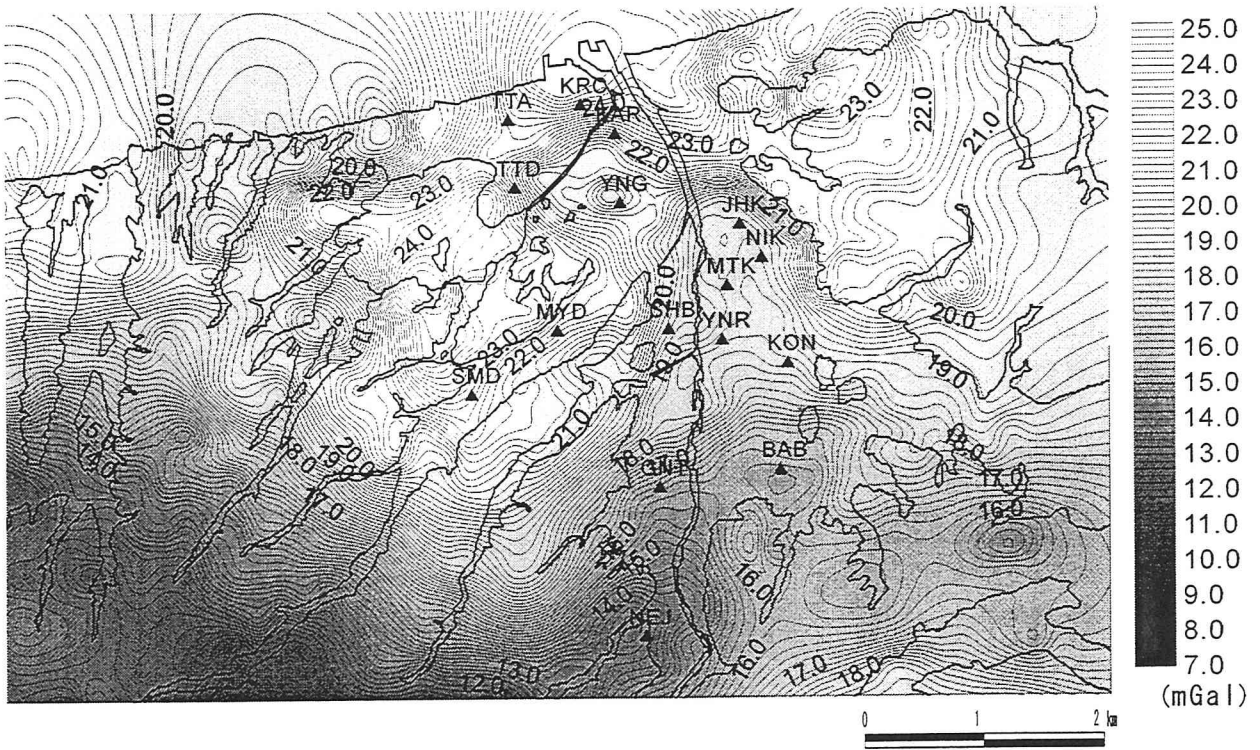


図4-5 ブーゲー異常図；仮定密度 $2.4\text{g/cm}^3$ ，コンター間隔 $0.2\text{mGal}$

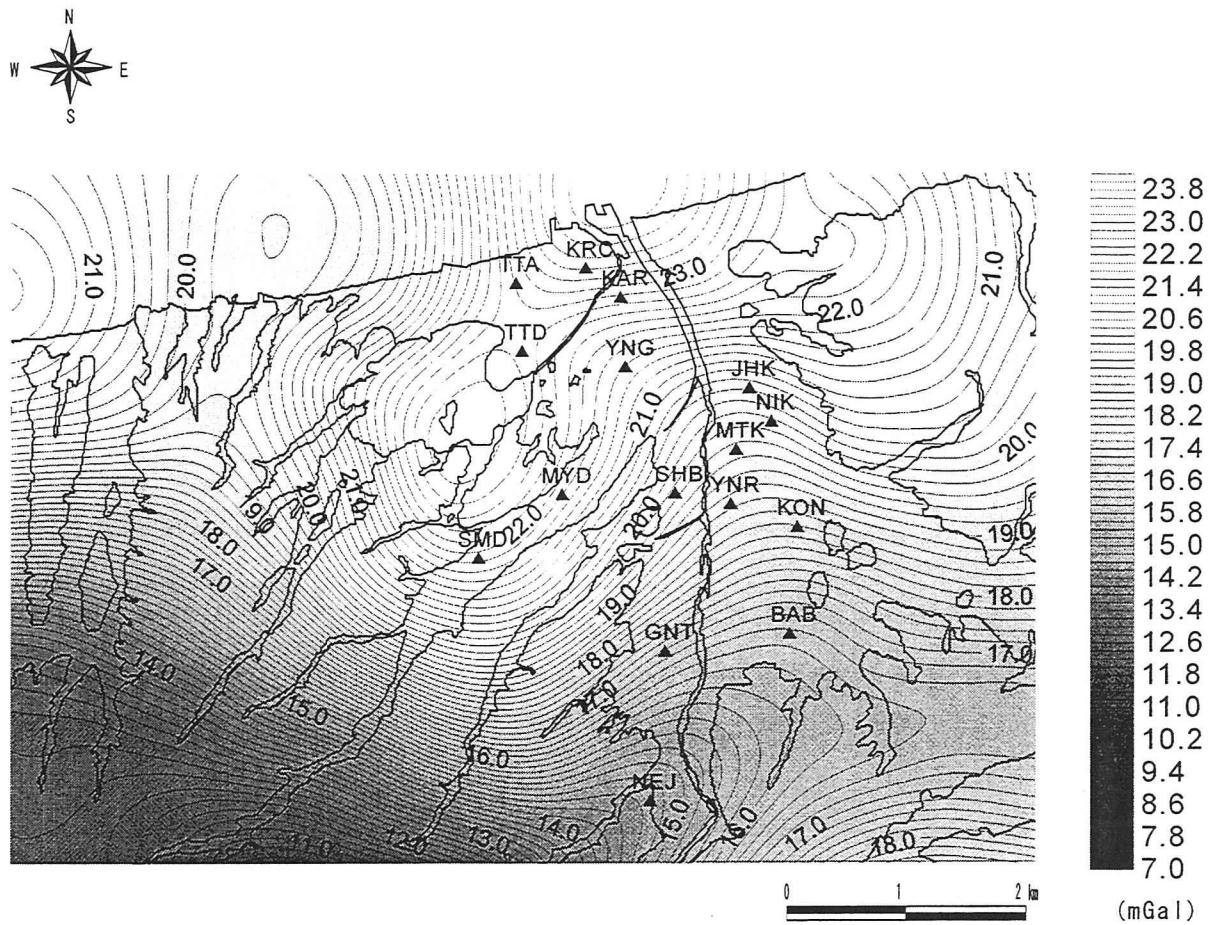


図4-6 1000mの上方接続フィルター処理を施したブーゲー異常図；  
 仮定密度 $2.4\text{g/cm}^3$ ，コンター間隔 $0.2\text{mGal}$

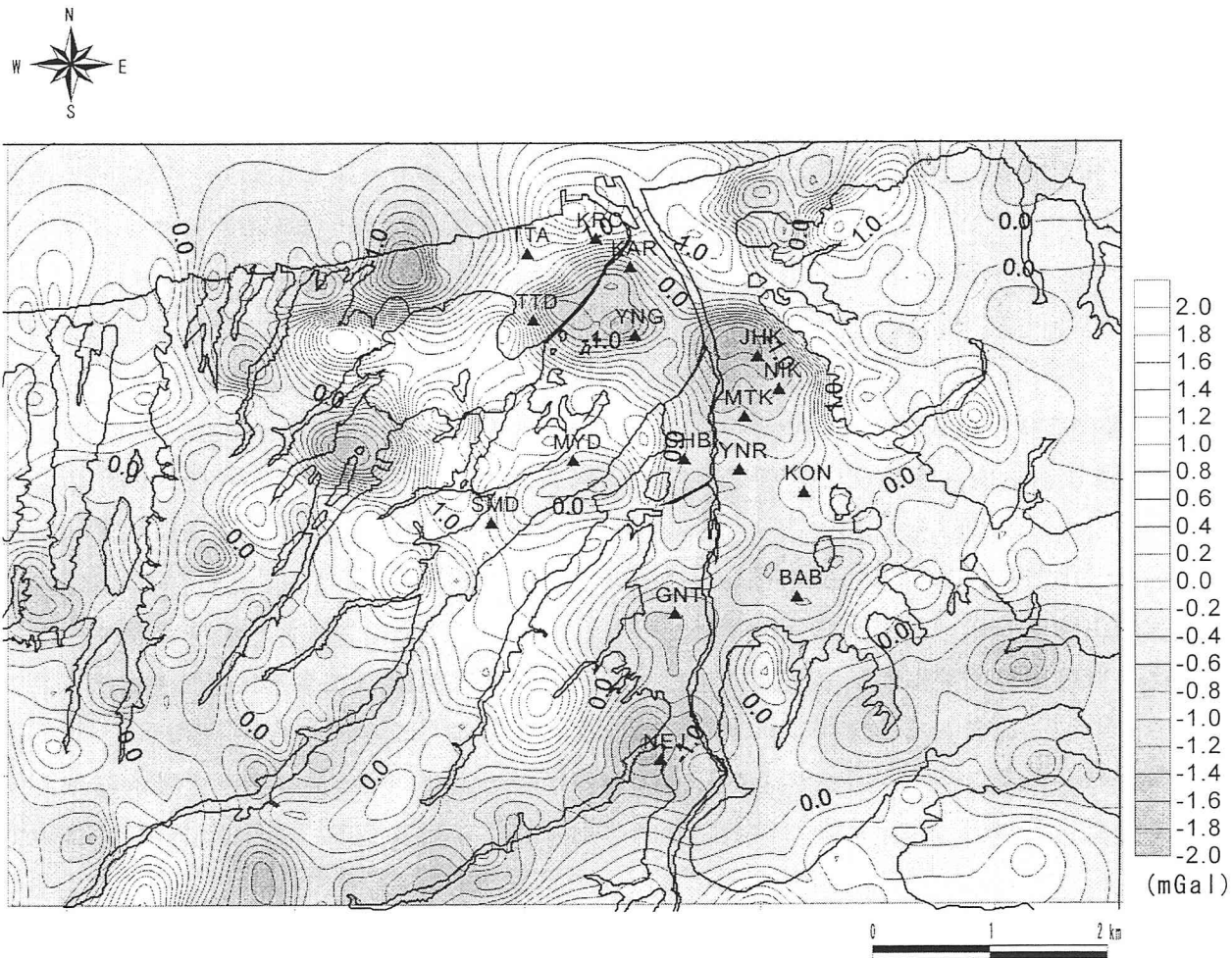


図4-7 50m, 1000mの上方接続フィルターによる残差重力異常図；  
 仮定密度 $2.4\text{g/cm}^3$ , コンター間隔 $0.2\text{mGal}$ .

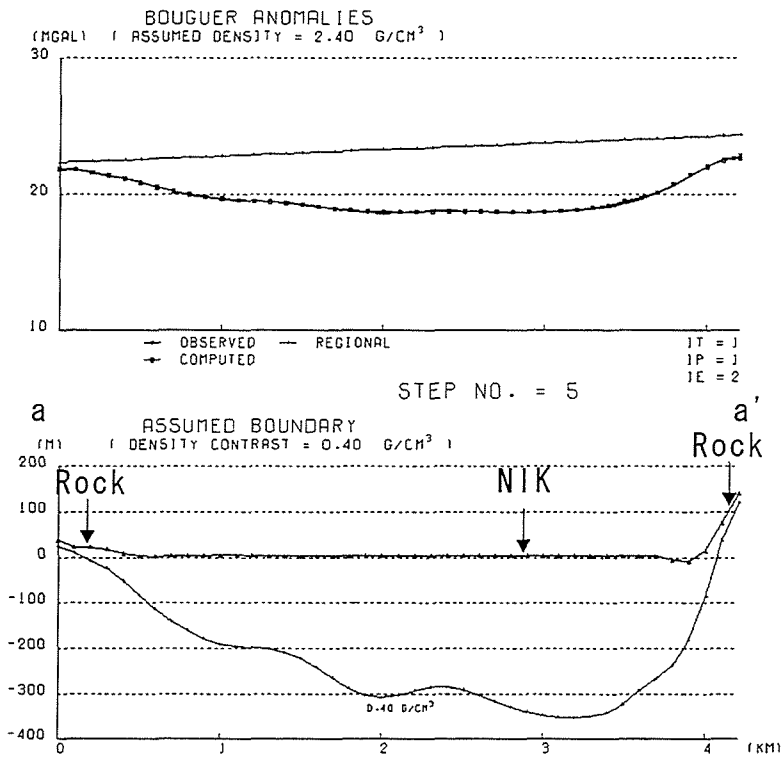


圖4-8 2次元自動解析結果(a-a'断面)

## 第5章 微動及び重力探査結果による総合解析

鳥取平野の地盤構造推定に、微動探査法、重力探査法を利用して、それぞれ3章と4章で個別に推定を行ってきた。その結果、鳥取平野の地盤構造について、微動探査法からは1次元の速度構造モデル、速度による3次元の基盤形状、重力探査法からは密度による3次元の基盤形状および2次元の密度構造の推定ができた。しかし、それぞれの推定結果には、未解決な部分も少なからず残されている。この章ではまず、両探査法の解析結果のクロスチェックを行いそれらの関係を調べる。次に、それらの関係を踏まえて、それぞれの解析結果を統合して再解析を行う。

### 5.1 微動と重力探査結果の関係

#### (1) H/Vのピーク周期と重力異常の関係

まず、H/Vのピーク周期(図3-21)とブーゲー異常のフィルター処理後(残差重力異常)の分布(図4-7)の比較を行う。既往の研究<sup>12)</sup>からこの両者には〔周期・長と重力異常・小〕の相関があることが示されている。図3-21と図4-7を重ね合わせた図を図5-1(1)(2)に示す。図5-1(1)はそれぞれのコンターラインを重ねた図、図5-1(2)はH/Vのピーク周期を○の大きさ(周期・長→○・大)で示した図である。これらの分布図については、物理量は異なるものの両者とも2層地盤を想定した3次元の基盤面を表現するものと考えられる。これらの関係について平野部を中心にみていくことにする。

海岸部の基盤の浅い地域、久松山から平野にかけての急激な基盤の潜り込み、湖山池北域の基盤の落ち込み、基盤最深部の盆地状の地域は非常に良く一致している。このように、北部地域において基盤面の傾向には良い相関がある。しかし、南域(NEJ・GNT・BABの周辺)についてH/Vのピーク周期では基盤の浅い地域が、残差重力異常では逆に深い地域となり、相反する場合もみられる。一般的には海岸部よりも内陸側の方が基盤深度は浅くなると考えられ、またS波速度構造(図3-15)でも南域のGNT→NEJ, KON→BABでは基盤深度は浅くなる傾向がみられる。よって、H/Vのピーク周期分布による基盤が南域につれ基盤が浅くなるという判断の方が妥当であると考えられる。

残差重力異常分布の低異常域の原因については、表層地質との関係から次のように推測できる。図2-1の表層地質<sup>3)</sup>によれば、湖山池周辺や久松山周辺の山地は、花崗岩や流紋岩の地域である。これに対し、低異常域の山地は火砕岩や礫岩の地域であり、これらの岩石は花崗岩や流紋岩に比べるとかなり低密度であると考えられる。このことから、基盤密度が小さいために低異常域となると予想される。

#### (2) S波速度構造モデルと重力異常の関係

残差重力異常は(1)での考察で平野の北部地域においては基盤深度に対応しているこ



とがわかった。さらに、微動解析結果との関係を詳細に調べるために、定量的に求められている S 波速度構造モデルと比較し、表層から各層までの深度の関係をみていく。

図 5-2 は図 4-7 に示した I-I', II-II' 断面の残差重力異常分布と、その断面に垂直に投影した位置に S 波速度構造の柱状を並べたものである。I-I' 断面は残差重力異常値の傾向と S 波速度構造の各層までの深度変化と正の相関がみられる。II-II' 断面では S 波速度構造の  $V_s=100\text{m/s}\sim 700\text{m/s}$  層まで深度変化の傾向と残差重力異常値との傾向は負の相関となるが、 $V_s=1000\text{m/s}\sim 3000\text{m/s}$  層までの深度変化とは正の相関がある。両断面が共通して正の相関となるのは、 $V_s=1000\text{m/s}\sim 3000\text{m/s}$  層までの深度変化である。

## 5.2 微動と重力異常の併用解析

### 5.2.1 2次元密度構造の推定

#### (1) S 波速度構造モデルを利用した 2次元自動解析

5.1 で微動解析結果と残差重力異常は、基盤深度の傾向として概ね良い相関があることが確認できた。この関係を利用する方法として、微動解析で得られた S 波速度構造モデルを基にした重力による断面解析が考えられる。これはアレイ観測点間の補間に重力異常を利用しようというものである。具体的には、重力異常による 2次元自動解析のコントロールポイントに S 波速度構造モデルの基盤深度を利用する。計算する断面は図 4-3 に示すようにできるだけアレイ観測点近傍を通るように設定した。ここでは、図 4-7 から〔基盤深度・大と重力異常・小の関係〕の相関があると判断できる b-b'断面、c-c'断面、f-f'断面について解析を行う。コントロールポイントの位置はアレイ観測点から目的の断面に垂直に投影した点とした。コントロールポイントに与えた地点とその条件を表 5-1 に示す。

5.1(2)での比較より、残差重力異常が  $V_s=1000\text{m/s}\sim 3000\text{m/s}$  層までの深度変化に対応していることがわかっている。そこでまず、密度コントラストの大きい境界として、最も速度インピーダンス比の大きい層を想定し、 $V_s=3000\text{m/s}$  層までの深度をコントロールポイントとして計算を行う。なお、4章での 2次元解析と同様、基盤の露頭点(山地と堆積層の境界)は基盤深度 0m、堆積層と新第三紀層を合わせた表層の密度が  $2.0\text{g/cm}^3$  程度であると想定して、表層と基層の密度差を  $0.4\text{g/cm}^3$  とした(仮定密度は  $2.4\text{g/cm}^3$ )。その結果を図 5-3(1)(2)に示す。この図のブーゲー異常の観測値・計算値の一致をみると、b-b'断面と f-f'断面では良く一致するが c-c'断面では全く一致しない。重力異常のズレの様子をみると、基盤露頭点～JHK の急変部分で、観測値の落差よりも計算値の落差の方が大きくなっている。すなわち、基盤深度の落差による重力異常の変化は実際の重力異常の変化よりも大きいことを示している。このことから、観測値の重力異常に一致させるには、この落差を小さくさせる必要がある。

表 5-1 2次元自動解析のコントロールポイント

| 断面   | アレイ名 | 始点からの距離<br>(m) | 深度(m)        |              |
|------|------|----------------|--------------|--------------|
|      |      |                | Vs=3000m/s 層 | Vs=1500m/s 層 |
| b-b' | KAR  | 1750           | 715          | 415          |
|      | YNG  | 3050           | 672          | 372          |
|      | SHB  | 5825           | 354          | 195          |
| c-c' | TTD  | 350            | 462          | 212          |
|      | YNG  | 2700           | 672          | 372          |
|      | JHK  | 5075           | 795          | 445          |
|      | 基盤露頭 | 6300           | 0            | 0            |
| f-f' | MYD  | 1125           | 360          | 160          |
|      | SMD  | 3350           | 208          | 108          |

4.3.2での両端を基盤深度0mとしたa-a'断面(図4-8)では、解析結果の密度構造モデルの最深部が約350mであった。この最深部に相当する地点はアレイ観測点のNIKに近く、その地盤モデルにおいて深度350mに最も近い値を示すのはVs=1500m/s層までの深度(358m)である。そこで次に、表層と基層の密度差は同様に0.4g/cm<sup>3</sup>とし(仮定密度は2.4g/cm<sup>3</sup>)、Vs=1500m/s層までの深度を拘束条件として与え計算を行う。この拘束条件においては、基盤露頭~JHKの基盤落差も小さくなる。その結果を図5-4(1)(2)に示す。この図では全断面において計算値と観測値のブーゲー異常がほぼ一致している。よって、下図の密度構造モデルによる重力異常は、Vs=3000m/s層までの深度を拘束条件に与えた場合に比べ観測値を上手く表現していることから、より適切なモデルであると判断できる。

この密度構造モデルによる基盤形状は次の通りである。まず、b-b'断面を北→南にみると、海岸部から最深部まで急激に沈み込み、そこから中央まで緩やかな傾斜で浅くなり、中央から南縁までほぼ横ばいとなる。次にc-c'断面を西→東にみると、中心まで僅かに起伏があるがほぼ横ばいで、そこから緩やかに最深部まで沈み込み、東縁の約1.5km手前から一気に基盤露頭点までせり上がる。最後にf-f'断面についてみる。この断面は吉岡断層とクロスしており中央部が地震断層の現れた地点である。両端にアレイ観測点のコントロールポイントを設定している。このf-f'断面は傾斜や急変はみられずほぼ一定で、この断面から断層による段差構造はみられない。

## (2) 2次元多層モデル解析

5.1 の比較で南域では〔H/V のピーク周期・短と重力異常・小〕の相関がみられ、低重力異常域は基盤密度が小さいことが原因であると予測した。そこで、この低異常域を満足するような多層密度構造モデルを推定した。ここで推定する断面は図 4-3 の d-d' 断面と e-e' 断面である。密度構造モデルは、表層 2.0g/cm<sup>3</sup>、第 2 層 2.2g/cm<sup>3</sup>、最下層に 2.4g/cm<sup>3</sup> の 3 層モデルを仮定した。その結果を図 5-5 に示す。この図からは、2.2g/cm<sup>3</sup> の第 2 層の層厚が両断面とも最高約 1000m に達することがわかる。南域山地の表層地層は、新第三系の円通寺礫岩層あるいは普岩寺泥岩層である(図 2-2)。よって、地質的な観点(表 2-6)から、2.2g/cm<sup>3</sup> の地層は新第三系に相当、2.4g/cm<sup>3</sup> の地層は花崗岩・中生代火山岩(古第三紀以前)に相当すると考えられる。この考えにもとづけば、推定された密度構造モデルの結果は、古第三紀層までの深度が約 1000m に達するとの報告<sup>3)</sup>と矛盾しない。

### 5.2.2 3次元基盤構造の推定

5.2.1 では微動解析結果と残差重力異常の相関を 2次元構造の推定に利用した。ここでは、S波速度構造モデルの基盤深度情報と残差重力異常値を利用して3次元の基盤構造の定量化を試みる。基本的な手順としては、2次元構造の推定と同様である。50m-500m の上方接続による残差重力値を用い、Vs=1500m/s 層までの深度コントロールポイントとして設定する。S波速度構造モデルを採用する観測点は、平野の北部地域で〔周期・長と重力異常・小〕の相関のある地点とした(BAB, NEJ, GNT 以外の点, 13点)。なお、山地と平野部の境界を基盤露頭点として 10点設定した。

ここで、地盤モデルの基盤深度と残差重力異常の関係が、解析範囲内で面的にみて地域性がないか調べておく。各アレイ観測点の残差重力異常値として与える際、アレイ半径を考慮するために、残差重力異常値のグリッドデータ(100m 間隔)より、アレイの中心点および中心点から東西南北方向に二つ先(200m 先)のグリッド 4点を読み取り、それらの平均値をその点における残差重力異常値とした。図 5-6 に基盤深度  $h$ (縦軸)と残差重力値  $\Delta g$ (横軸)の関係をプロットした図を示す。この図によれば、プロットのバラツキは少なく、〔基盤深度・深と重力異常・小〕の直線的な関係がみられる。最小二乗法による回帰式は次式で与えられる。

$$h = -302.53 \times \Delta g + 234.78 \quad (5-1)$$

このように解析範囲内で地盤モデルの基盤深度と残差重力異常の関係に地域性がみられないことから、13点分を同じ Vs=1500m/s まで基盤深度を基盤層までの深度にコントロールポイントに設定し計算を行った。計算された基盤深度のコンターマップを図 5-7 に示す。なお、コンター図の範囲は平野部でアレイ観測点を採用した地域である。

得られた基盤構造と既往の研究<sup>4)</sup>で推定されている基盤岩(第三系)の上限深度図(図 2-3)と比較してみる。図 2-3 の基盤岩層は表 2-6 の新第三系の上部層に相当すると考

えられるが、S波速度構造から判断して基盤岩層の  $V_s=700\text{m/s}\sim 1500\text{m/s}$  層までの深度は概ね同様な傾向を示すことから、新第三系の下部層～花崗岩・中生代火山岩類野層を示していると推測される図 5-7 と、相対的な基盤形状については比較できるものと思われる。千代川より東域の久松山から平野にかけての急変や、基盤が海岩付近で浅くなる傾向は良く一致している。しかし、図 5-7 では TTA・TTD 付近の複雑な形状や、湖山池北部の基盤の落ち込みがみられる。この地域には基盤岩層まで達した既存のボーリングデータ存在していなかったために、基盤形状を正確に表現することは困難であった。このように、地盤データの不足のために推定困難な地域では、本研究による手法は特に有効である。

最後に地震動の観点で、図 5-7 と 1943 年の鳥取地震の被害との関係を考える。1995 年の兵庫県南部地震で、震災の帯が形成された原因として、神戸地区の 2 次元的な基盤の急変構造が原因との指摘がある<sup>5)6)7)8)</sup>。これらの研究では、波線理論や数値シミュレーションなどを行い、フォーカシングやエッジ効果によって地震動が増幅し被害の帯が形成されたと説明している。1943 年の鳥取地震では市街地の大半が全半壊している。図 5-7 では久松山から市街地、および海岸部から平野部にかけて基盤の急変しており、さらに基盤最深部の分布が盆地状になっている。兵庫県南部地震の神戸地区を参考にすれば、これら 2 次元・3 次元の急峻な基盤形状が、被害拡大の原因の一つとして予想される。今後、これらを確認するためにも、本研究で推定された地盤構造が、地震動予測の上で重要な役割を果たすものと期待される。

### 5.3 まとめ

本章では、微動および重力解析の結果を総合的に解析して地盤構造の推定を行った。微動と重力異常には全般的に相関を持つことが確認された。その関係は次の通りである。

- (1) 微動の H/V のピーク周期分布と残差重力異常分布から推定される基盤形状の傾向は、平野の北部地域で〔周期・長と重力異常・小〕の相関を示した。しかし、南部地域では逆の相関〔周期・短と重力異常・小〕がみられた。内陸側になる南部地域の基盤深度が深くなるとは考えにくく、重力異常が小さくなるのは、地質的な観点や S 波速度構造モデル結果から判断して、基盤密度が小さいことが原因であると考えられる。
- (2) 微動から得られた S 波速度構造モデルと残差重力異常との比較から、基盤層との相関について東西・南北の 2 断面で調べた。その結果  $V_s=1000\sim 3000\text{m/s}$  層までの深度傾向と残差重力異常の低異常分布が正の相関を示すことがわかった。

これらの関係を踏まえ、微動で得られた S 波速度構造モデルの基盤深度と重力異常を用いて 2 次元の密度構造モデルと 3 次元の基盤構造の推定を行った。その結果は次の通りである。

- (3) 重力の 2 次元自動解析のコントロールポイントに S 波速度構造モデルの基盤深度を利用して、2 層密度構造を求めた。その結果、平野北部地域の 3 断面について  $V_s=1500\text{m/s}$  の基盤深度に対応する 2 層密度構造を推定できた。
- (4) 平野北部地域において、S 波速度構造モデルの  $V_s=1500\text{m/s}$  層までの基盤深度をコントロールポイントに設定し、50m–500m の残差重力異常値を用いることにより、3 次元の基盤深度分布が推定できた。

このように個別の解析結果からでは解釈や推定が困難な場合でも、両解析結果を組み合わせることで、より正確な地盤の構造推定を行うことができた。また、特に地盤データの不足のために推定困難な地域では、本研究による手法が大変有効であることが示された。

#### 参考文献

- 1) 赤松純平, 西村敬一, 尾上謙介, 駒澤正夫, 盛川仁: 浦幌層群(釧路市東部春採湖岸)を基準とする脈動の地盤による増幅特性とブーゲー重力異常との関係、地震時の地盤振動特性評価のための微動の活用に関する研究(平成 5 年科学研究費補助金研究成果報告書(課題番号 05558047)), pp159-162, 1994.
- 2) Akamatsu, J., K. Nishimura and Komazawa M.: Microzonation of a sedimentary region based on comparative analysis of microseisms and gravity anomaly, Proceedings of the fifth international conference on seismic zonation, II, 933-940, 1995.
- 3) Matsumoto, T: Stratigraphical Study of Miocene Series in the Eastern Part of Tottori Prefecture, Southwest Japan, Journal of Faculty of Science Hiroshima University, pp199–234, 1986.
- 4) 豊島吉則, 赤木三郎, 吉谷昭彦, 岡田昭明, 道上正規, 檜谷治, 宮越潤一郎, 西田良平, 塩崎一郎: 鳥取温泉調査報告書, pp5–14, 1994.
- 5) 川瀬博, 林康裕: 兵庫県南部地震時の神戸市中央区での基盤波の逆算とそれに基づく強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 480, pp67–76, 1996.
- 6) 川瀬博, 松島信一: 「エッジ効果」に着目した単純な二次元盆地構造の三次元波動場解析—兵庫県南部地震の際の震災帯の成因—, 地震, 第 2 輯, 50, pp431–449, 1998.
- 7) 源栄正人, 永野正行: 深部不整形地下構造を考慮した神戸市の地震動の増幅特性解析—兵庫県南部地震における「震災の帯」の解釈—, 日本建築学会構造系論文集, 488, pp39–48, 1996.
- 8) 赤松純平, 慈道充, 駒澤正夫, 西村敬一, 斉藤秀雄, 中村佳重郎, 尾上謙介, 志知龍一: 兵庫県南部地震による地震動と基盤構造-甲陽断層周辺について, 地質学論集, 51, pp20-36, 1998.

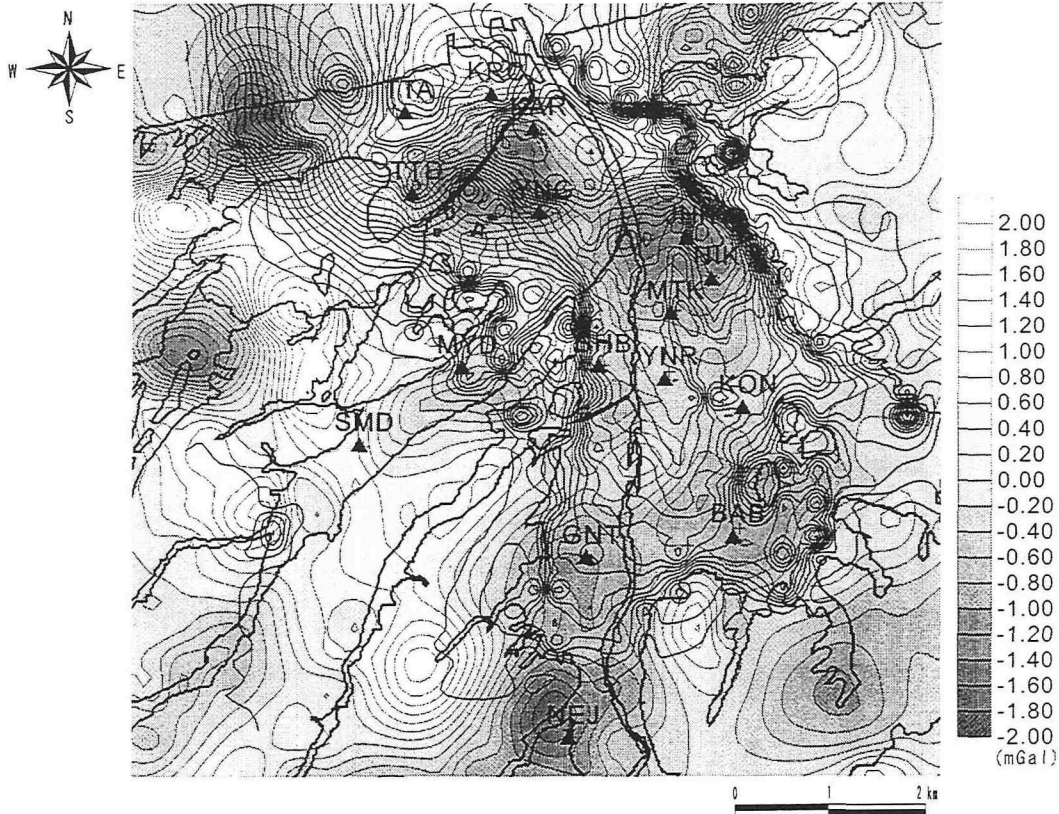


図5-1(1) 残差重力異常とH/Vのピーク周期分布の比較；  
それぞれのコンターマップの重ね合わせ。

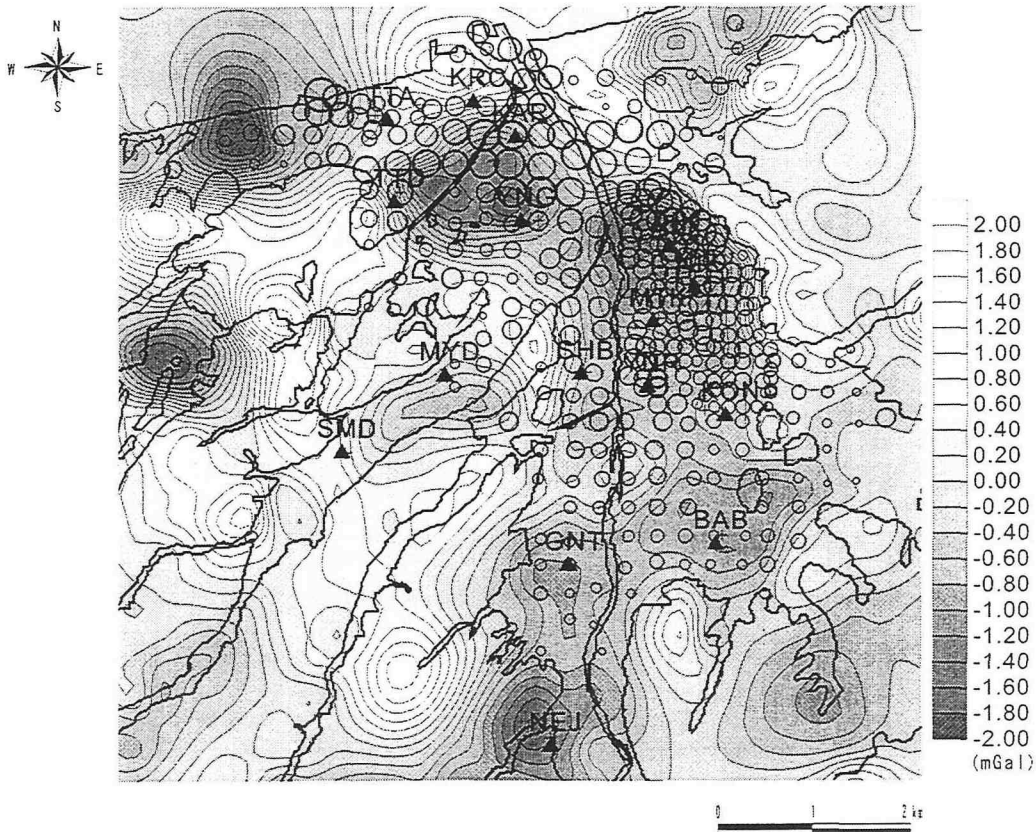


図5-1(2) 残差重力異常とH/Vのピーク周期分布の比較；  
各ポイントごとの周期を(周期大→○大)で示す。

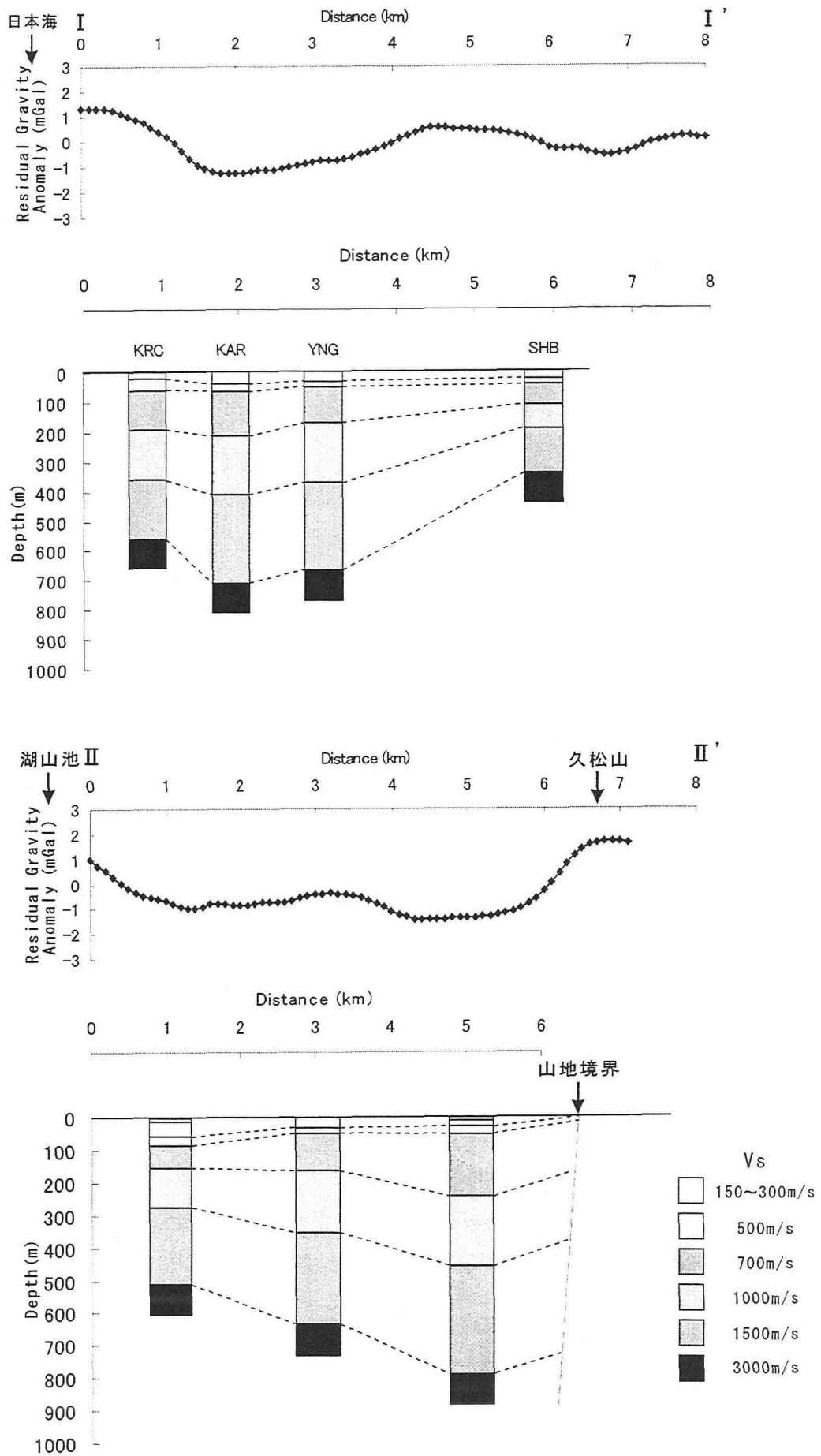


図5-2 S波速度構造と残差重力異常分布(50m-1000m上方接続残差)

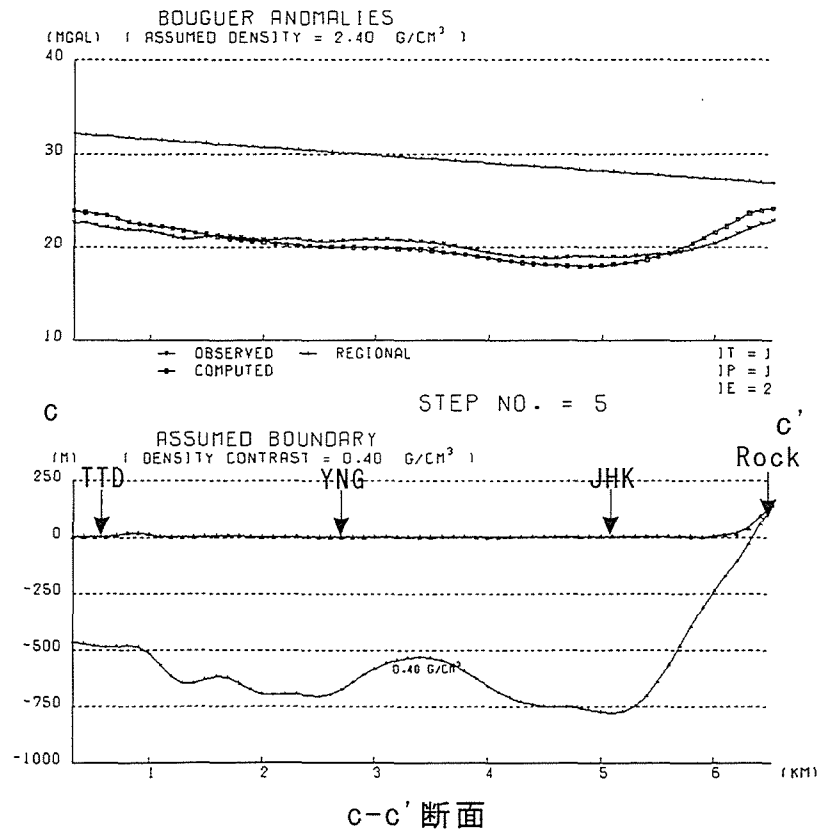
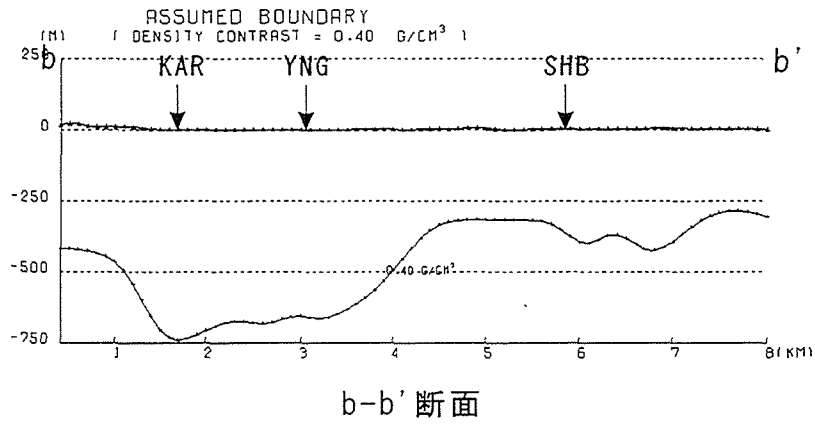
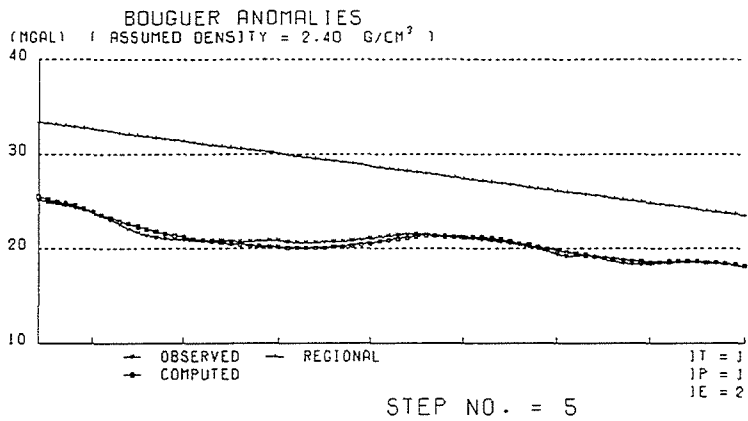


図5-3(1) 2次元自動解析結果 (密度差: 0.4g/cm<sup>3</sup>,  
コントロールポイント: Vs=3000m/s層までの深度)



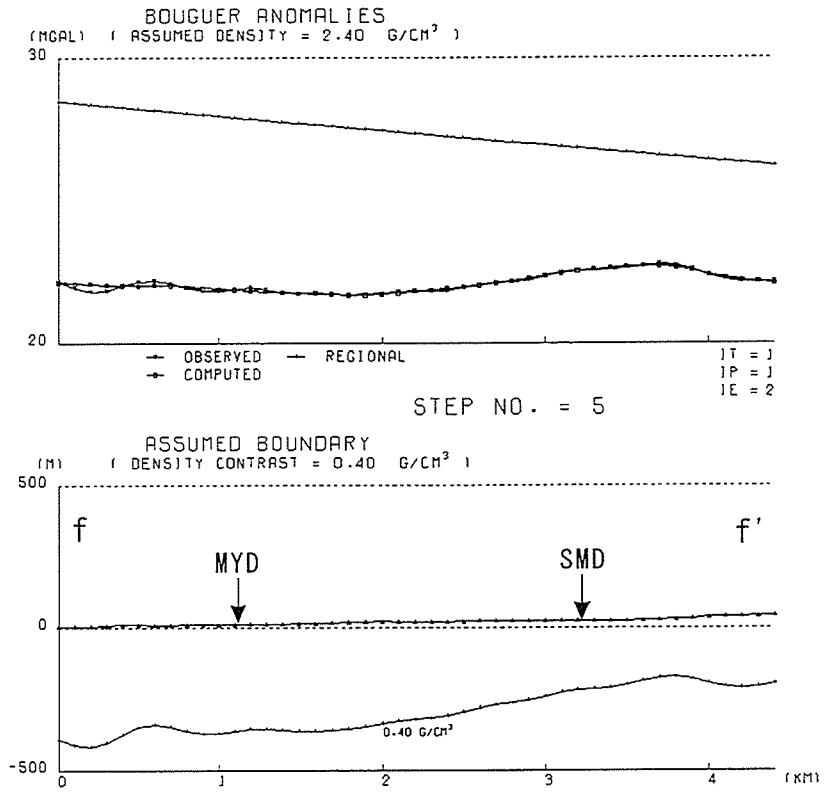
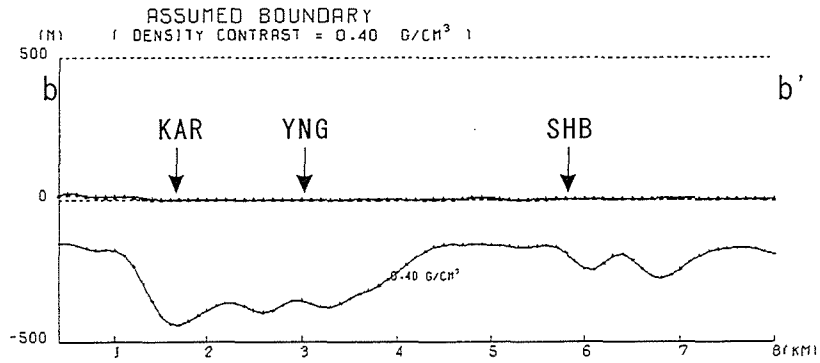
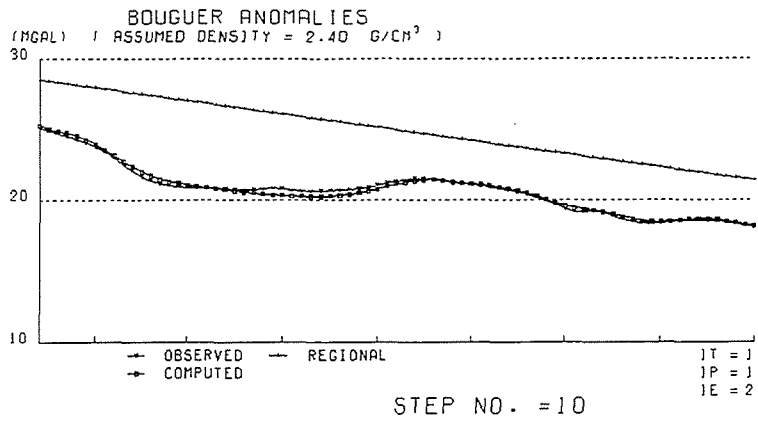
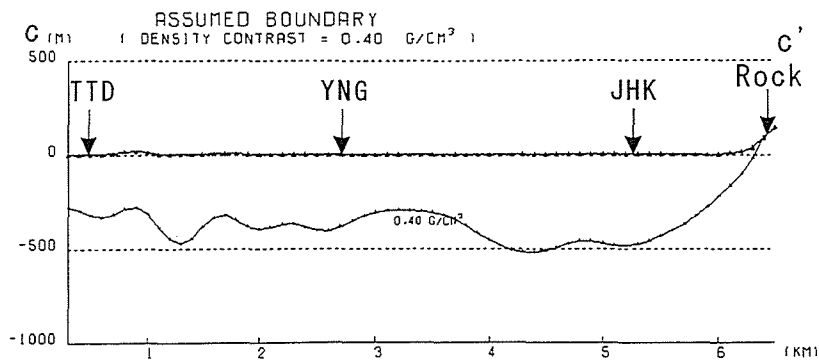
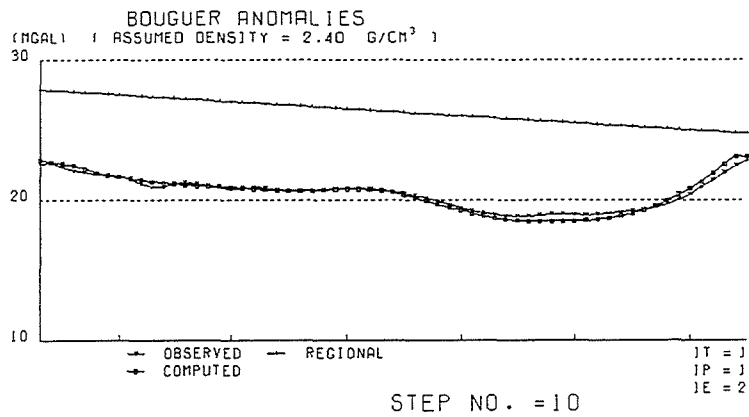


図5-3(2) 2次元自動解析結果 (密度差 : 0.4g/cm<sup>3</sup>,  
コントロールポイント : Vs=3000m/s層までの深度)



b-b' 断面



c-c' 断面

図5-3(1) 2次元自動解析結果 (密度差 : 0.4g/cm<sup>3</sup>,  
コントロールポイント : Vs=1500m/s層までの深度)

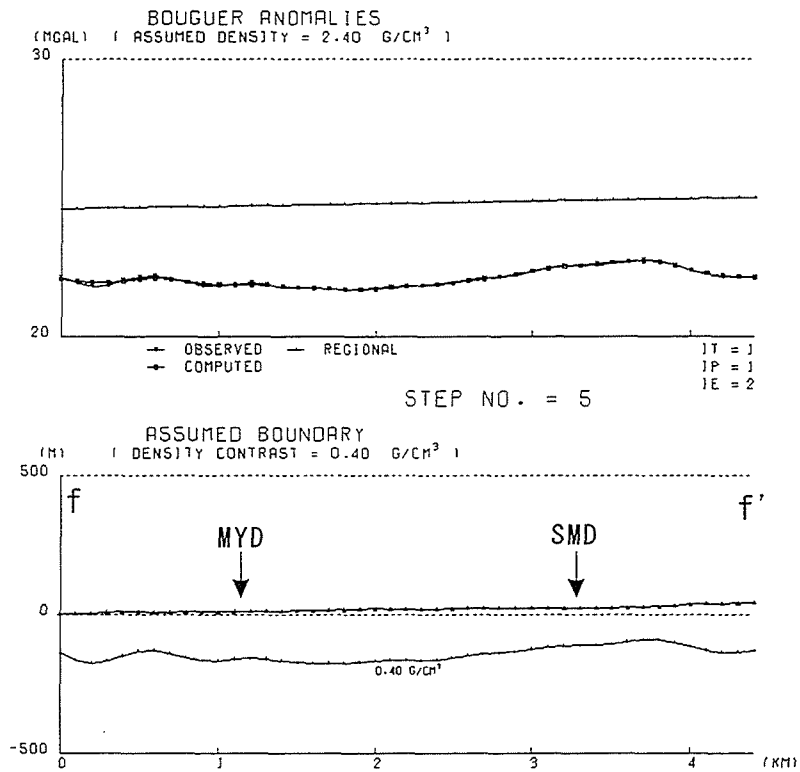
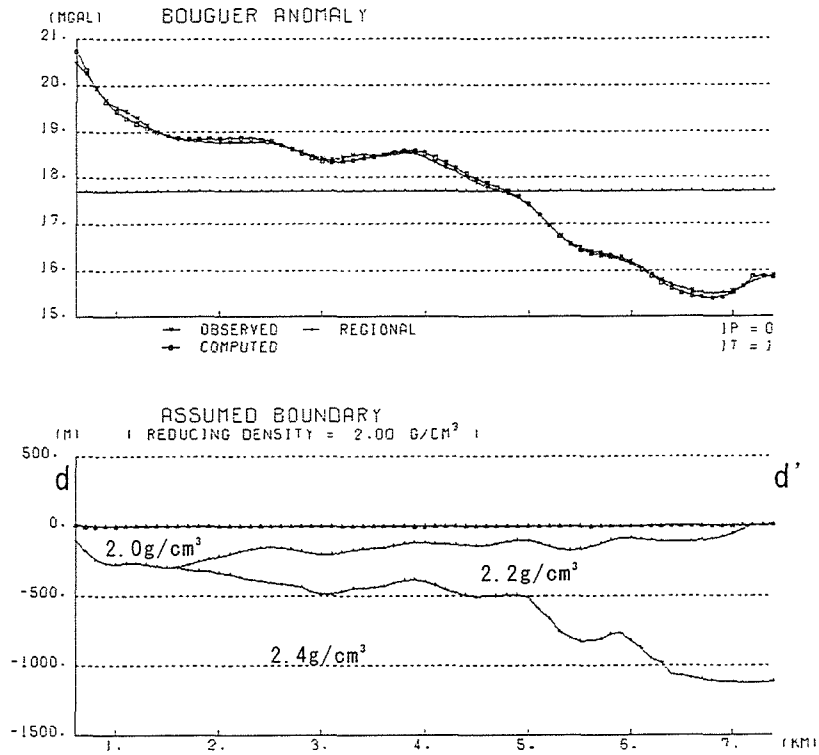
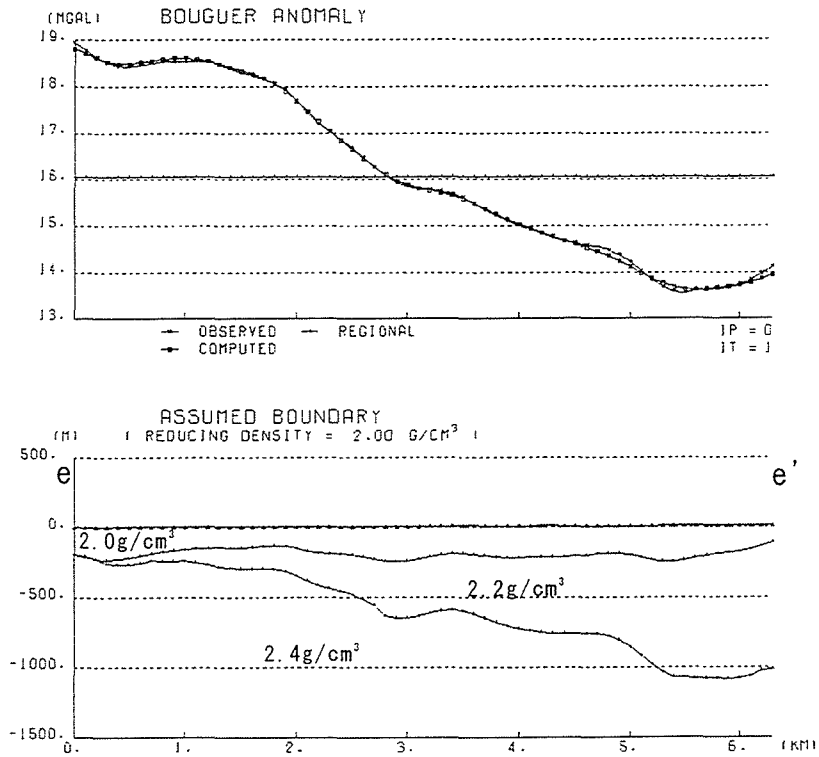


図5-3(2) 2次元自動解析結果 (密度差 : 0.4g/cm<sup>3</sup>,  
コントロールポイント : Vs=1500m/s層までの深度)



d-d' 断面



e-e' 断面

図5-4 2次元多層モデル解析結果

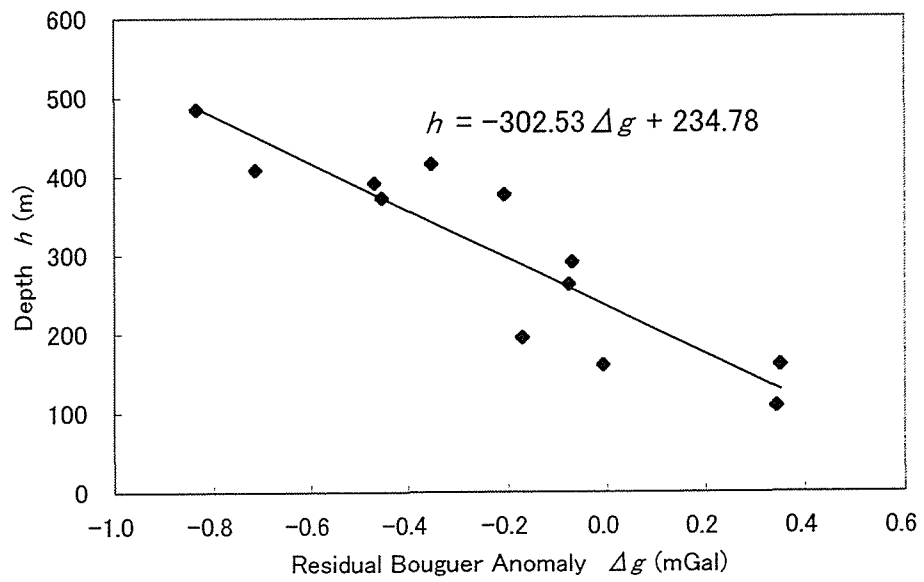


図5-5 基盤深度 $V_s=1500\text{m/s}$ までの層と50m-500mの上方接続残差重力異常の関係

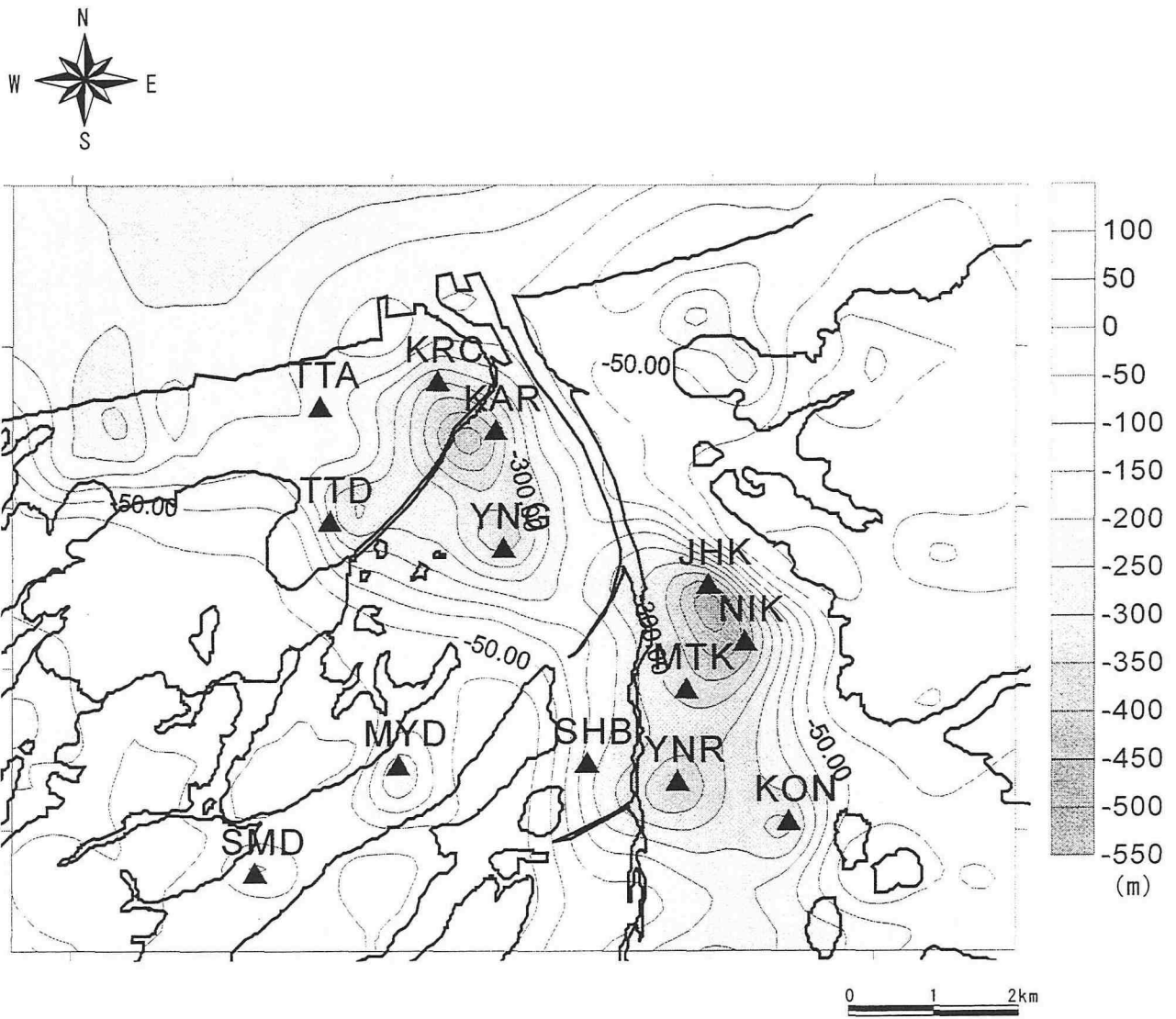


図5-6 3次元基盤深度分布 ; 50-1000mの残差重力異常値を用いる.  
 コントロールポイントに、▲で示したアレイ観測点の $V_s=1500\text{m/s}$ 層までの深度を利用.

## 第6章 結論

本研究では鳥取平野において地盤構造を解明するために、微動探査法と重力探査法を適用した。また、それらの推定結果を総合的に解析し、より正確な地盤構造の推定を試みた。

本研究で得られた成果についてまとめると次の通りである。

2章では、鳥取平野の地形・地質の概要および、既存の地盤データについて述べた。地質情報は5章での重力異常の解釈で参考にした。既存の地盤データを基に地質層序と弾性波速度・密度と対応表をまとめた。この表での区分による速度値は、3章での微動解析における地盤モデリングで参考にした。

3章では、微動探査法の解説及びその適用による地盤構造の推定について述べた。その結果、1次元地盤モデルと速度による相対的な3次元の基盤形状を推定できた。その推定結果をまとめると次の通りである。

- (1) 表層のS波速度は100m/s~300m/sと低速度である。その層厚は薄くても10m、厚いところでは40mに達する。Vs=3000m/sの最下層までの深度は約200m~800mであることがわかった。
- (2) 基盤深度の傾向として、平野の南北方向について南域→北域にみると、平野中央部までは緩やかな傾斜で深くなるが、途中から急激な落ち込みとなり、最深部から再び海岸部に向けせり上がりが見られる。また、東西方向については、東域の久松山を含む山地から平野部にかけて急激な落ち込みが見られる。
- (3) H/Vのピーク周期コンターマップより、3次的に基盤面をみると海岸部の浅い帯状の地域、その地域に隣り合うように平野の最深部地域が東西方向に伸びている。

4章では、重力探査法の解説及びその適用による地盤構造の推定について述べた。その結果、鳥取平野の平均的な基盤密度、重力異常による3次元の基盤形状、2次元の2層密度構造を推定できた。その推定結果をまとめると次の通りである。

- (1) 岩石採取による密度測定値およびCVUR法により、鳥取平野の基盤密度が $2.4\text{g/cm}^3$ であることがわかった。
- (2) フィルター処理を施したブーゲー異常から鳥取平野の3次的な基盤面を把握することができた。海岸付近には基盤の浅い地域、その地域と隣り合う様に基盤の深い地域が盆地状となっており、久松山から平野部にかけての急激な基盤の落ち込みなどの特徴が見られた。
- (3) 2次元自動解析により平野を東西に横切る断面の密度構造を推定することができた。基盤の最深部は約350mで東落ちのくさび型のような形状を呈することがわかった。

5章では、微動と重力探査結果を総合的に解析し、より詳細な地盤構造の推定を行った。両探査結果の相関関係を調べた後に、その関係を踏まえて微動と重力異常の併用解

析を試みた。その結果、次のような関係がわかった。

- (1) 微動の H/V のピーク周期分布と残差重力異常値の分布から推定される基盤形状の傾向は、平野の北部地域で〔周期・長と重力異常・小〕の相関を示した。しかし、南部地域では逆の相関〔周期・短と重力異常・小〕がみられた。海岸線から内陸の南部地域の基盤深度が深くなるとは考えにくく、重力異常が小さくなるのは、地質的な観点および 1 次元地盤モデル結果から判断して、基盤密度が小さいことが原因であると考えられる。
- (2) 微動から得られた 1 次元地盤モデルと残差重力異常との比較から、基盤層との相関が良いのか東西・南北の 2 断面で調べた。その結果  $V_s=1000\sim V_s=3000\text{m/s}$  層までの深度傾向と残差重力異常の分布が良い相関を示すことがわかった。

これらの関係を踏まえ、微動で得られた 1 次元地盤モデルの基盤深度と重力異常を用いて 2 次元の密度構造モデルと 3 次元の基盤構造の推定を行った。その結果は次の通りである。

- (3) 重力の 2 次元自動解析のコントロールポイントに 1 次元地盤モデルの基盤深度を利用して、2 層密度構造を求めた。その結果、平野北部地域の 3 断面について  $V_s=1500\text{m/s}$  の基盤深度に対応する 2 層密度構造が推定できた。
- (4) 平野北部地域において、1 次元地盤モデルの  $V_s=1500\text{m/s}$  層までの基盤深度をコントロールポイントに設定し、50m-1000m の残差重力異常値を用いることにより、3 次元の基盤深度分布が推定できた。

最後に今後の課題について整理する。微動探査結果については、1 次元地盤構造モデルの基盤岩層の再検討、3 次元基盤深度の定量化の改善が挙げられる。重力探査結果については、基盤の密度が一定ではない場合の解釈、定量解析における多層モデルでの検討が挙げられる。各解析結果の精度が向上すれば、微動と重力解析の併用において、必然的に推定精度が良くなり、組み合わせる方法もより多く考案できるものと思われる。また、本研究では利用していない他の探査法による結果(電気比抵抗構造)などの利用も有効であると考えられる。



## 謝辞

本論文は、鳥取大学工学部土木工学科地圏環境工学研究室、西田良平教授のご指導のもとで研究が行われ、まとめられたものです。同教授からは私が同研究室の配属以来、全く知識、経験などが無い状況の私に、基礎知識、並びに数々のご支援、ご援助を賜りました。また、他大学、研究所等の方々との交流や共同研究、学会での参加など学外での研究の機会を与えて頂き、研究に対する知識、心構えを一層高めることができました。同学科同研究室の塩崎一郎助教授からは、常に研究に対する冷静かつ真剣なご指導、ご助言を頂きました。同学科の榎明潔教授、上田茂教授からは本論文に関するご助言を頂きました。心より感謝申し上げます。

地域地盤環境研究所の宮腰研博士からは、微動に関する基礎知識や様々なノウハウ、観測方法のご指導などの実質的なご助言を頂き、私の微動研究分野の土台となりました。同研究所の趙伯明博士からは、微動に関する観測機材の借用、観測方法のご指導、解析プログラム、並びに有益なご助言を頂きました。産業技術総合研究所の駒澤正夫博士からは、重力に関するデータ、解析プログラム、並びに重力解析に関する、親切丁寧なご指導を頂きました。東京工業大学大学院理工学研究科の盛川仁助教授からは、共同研究等を通じて知識や経験の浅い私に対し、辛抱強く丁寧なご指導及びご援助頂いたこと、さらに研究に対する熱意や心構えをご教授頂きました。京都大学防災研究所の赤松純平助教授からは、共同研究の機会もあり、学会や研究会等において大変有益なご助言を頂くことができました。赤木三郎鳥取大学名誉教授からは、地質学的なご助言、並びに鳥取地区の重要な参考資料を頂き、研究結果の整理と論文編集の際、大変参考になりました。鳥取大学教育地域科学部の岡田昭明教授、矢野孝雄助教授からは、地質学的背景についての参考資料の手配およびご助言を頂きました。

国土防災(株)の西山浩史氏からは、同氏が地圏環境研究室在籍中から現在に至るまで、研究についての基礎知識、論文の収集、プログラム作成などにおいてご援助、ご助言を頂きました。京都大学防災研究所鳥取観測所の中尾節郎技官からは観測機材調達での便宜、機材取扱いのご指導、並びに公私にわたる励ましのお言葉を頂きました。心より御礼申し上げます。

観測や論文の編集作業において、砂防エンジニアリング(株)の尾崎順一氏、鳥取県庁の西垣俊宏氏、アイサワ工業の白神巖氏、東伯町役場の荒井猛氏、鳥取市役所の岸本善雄氏、地圏環境工学研究室の大学院生の吉川大智氏、余田隆史氏、宗藤航氏、宇都智史氏、および学部生の寺田一樹氏、金本宏司氏、池田裕介氏をはじめとする皆様、および同研究室 OB の皆様のご協力を頂きました。心より感謝いたします。

最後に、縁の下で様々なご支援を頂いた、母親並びに親族の皆様に、心より感謝いたします。

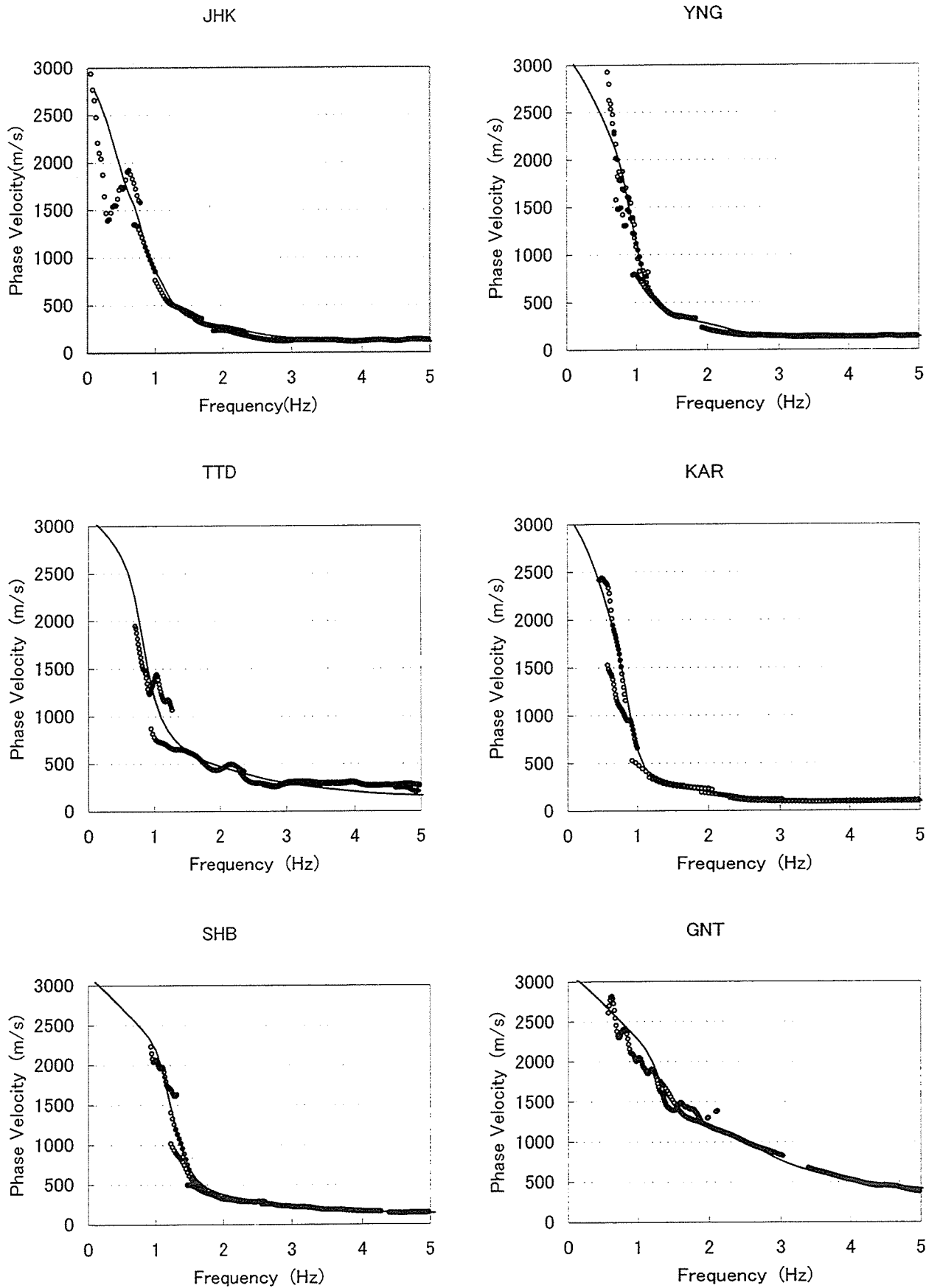
## 付録

図 1 位相速度の分散曲線

図 2 アレイ中心点における H/V

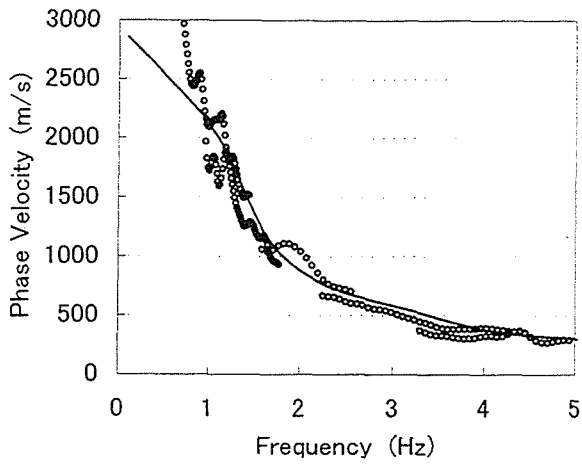
表 1 H/V のピーク周期読取値

表 2 重力測定データ

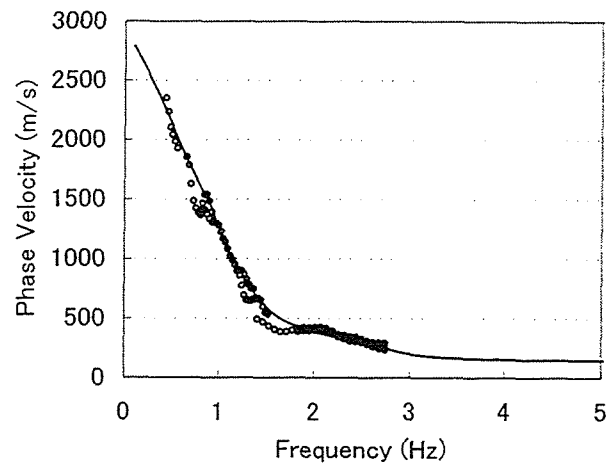


付録図1(1) 位相速度の分散曲線; 白丸は観測値, 実線は理論曲線

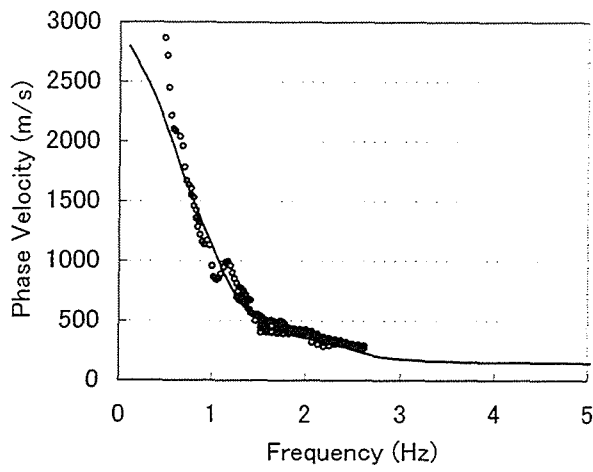
TTA



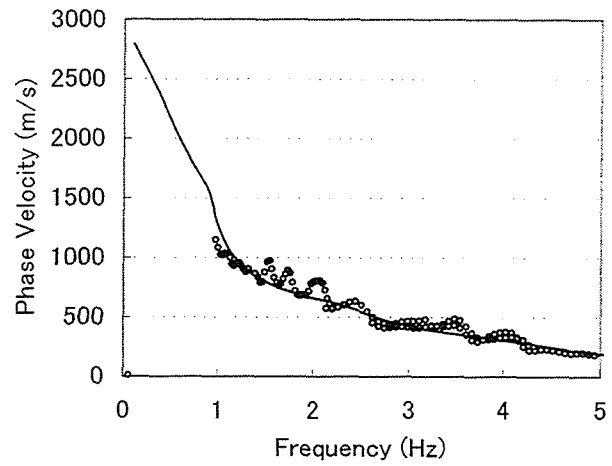
YNR



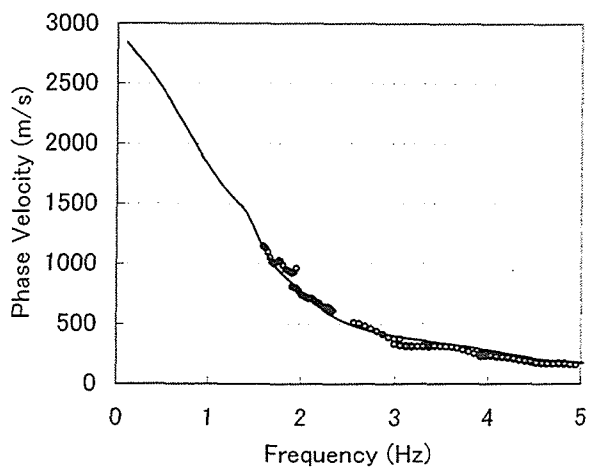
NIK



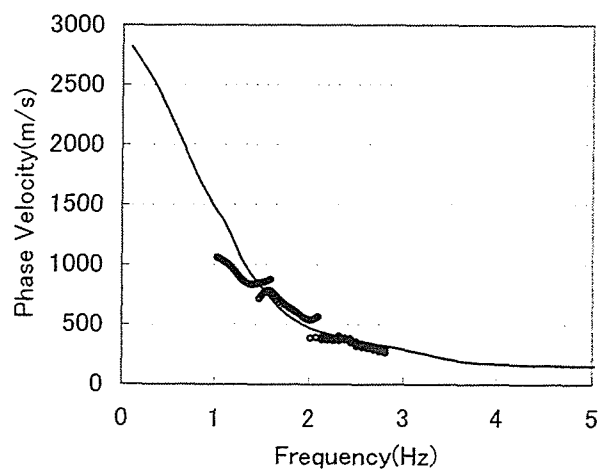
MTK



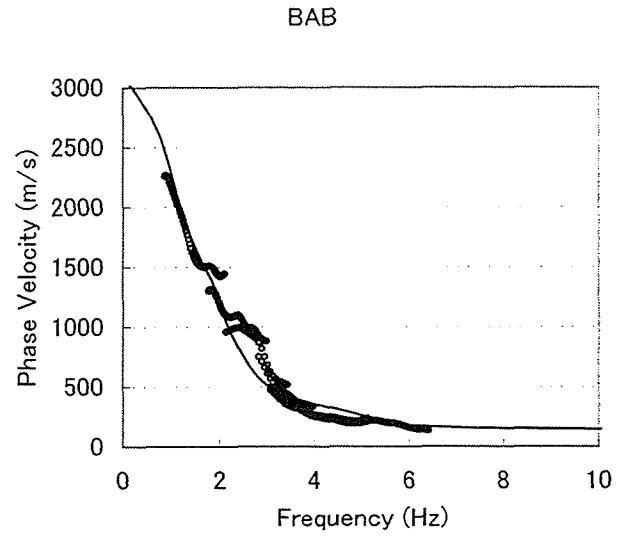
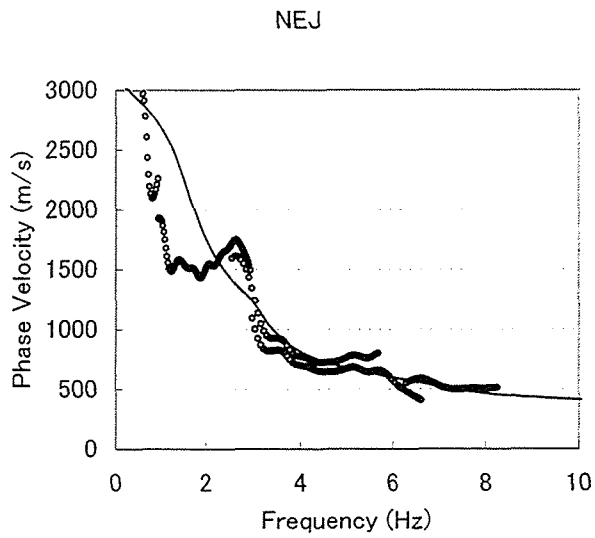
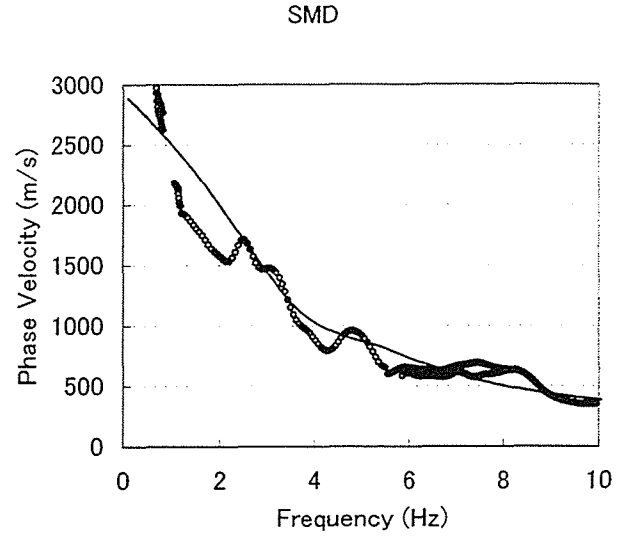
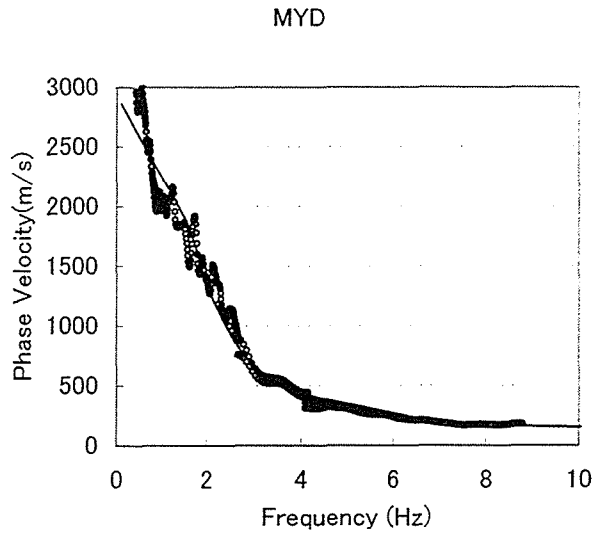
KON



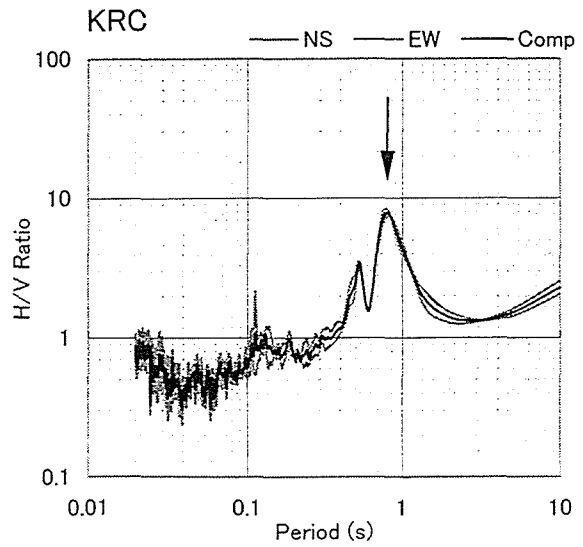
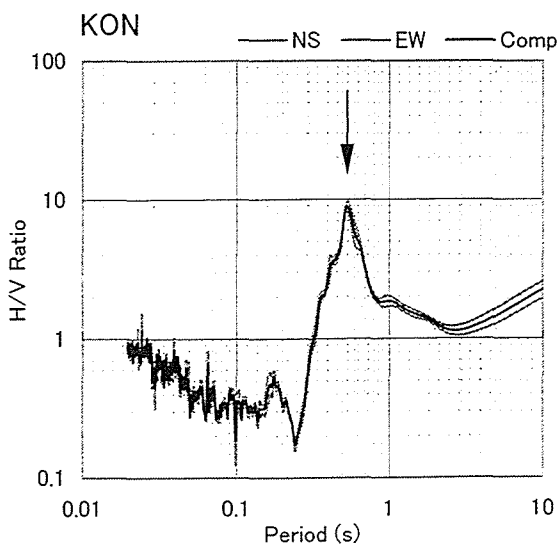
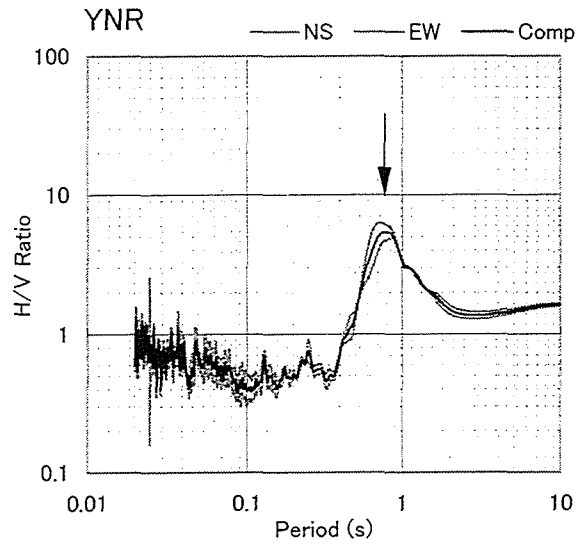
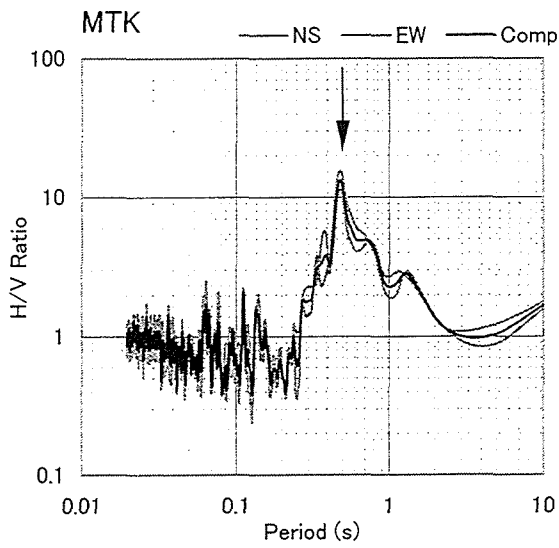
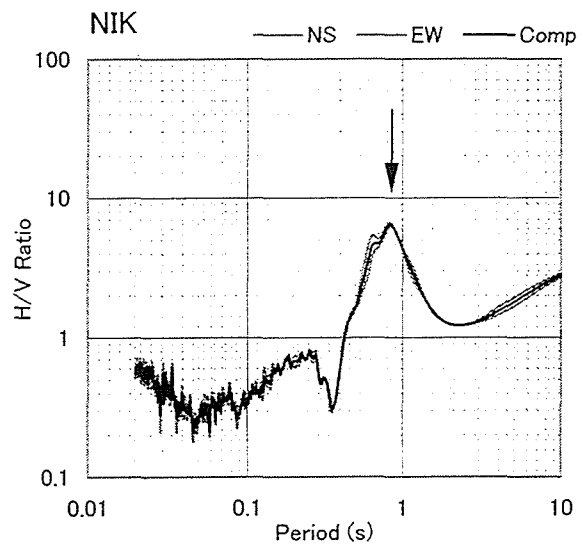
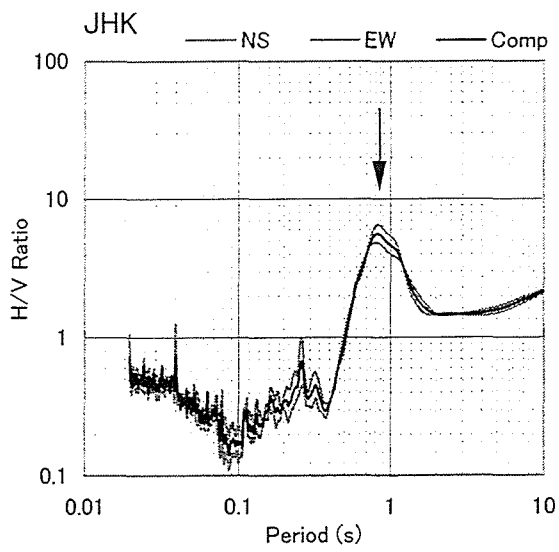
KRC



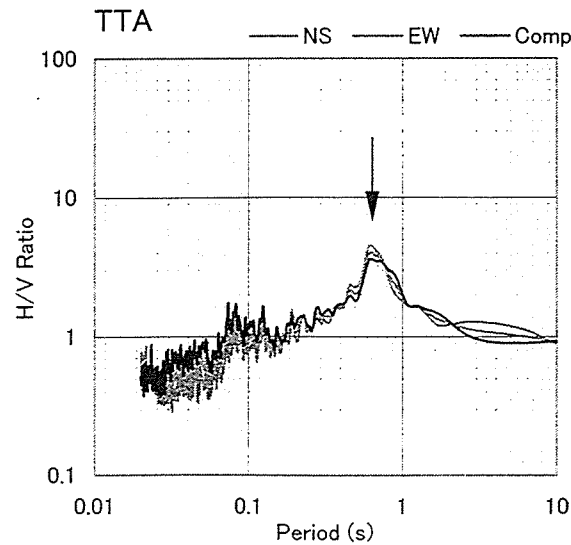
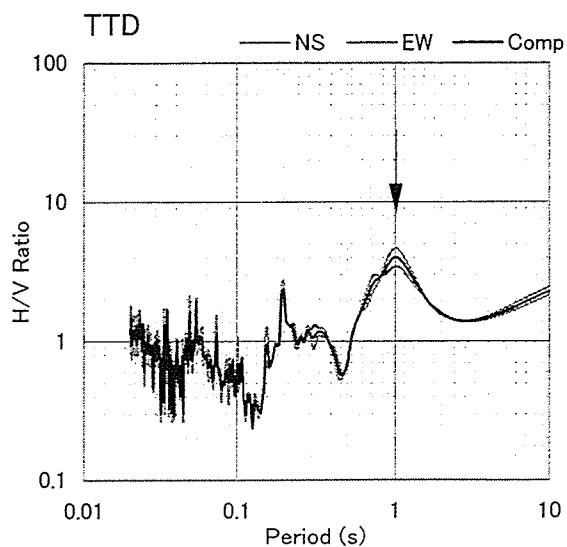
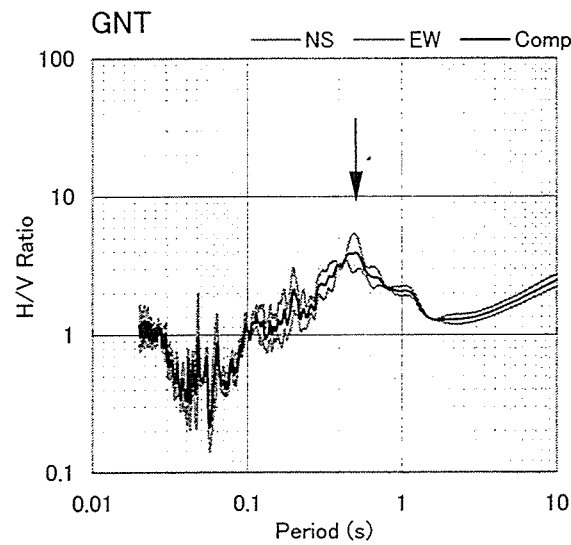
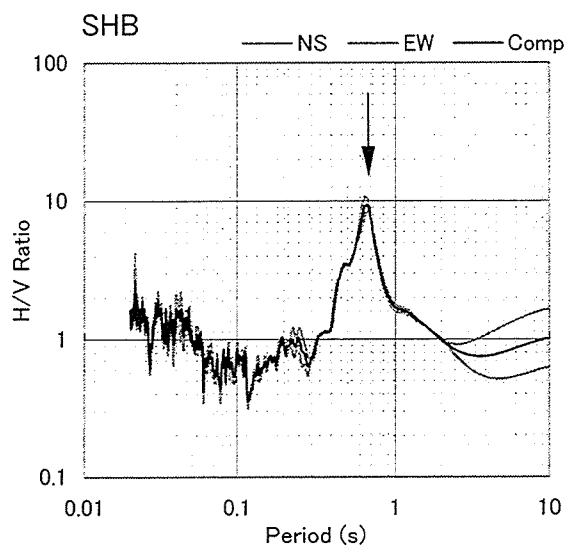
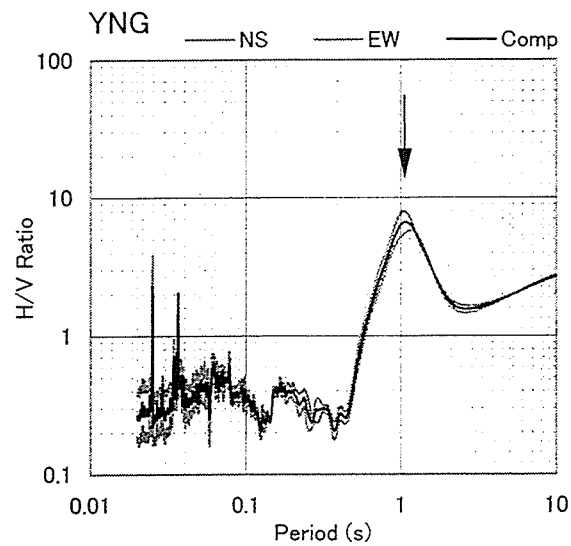
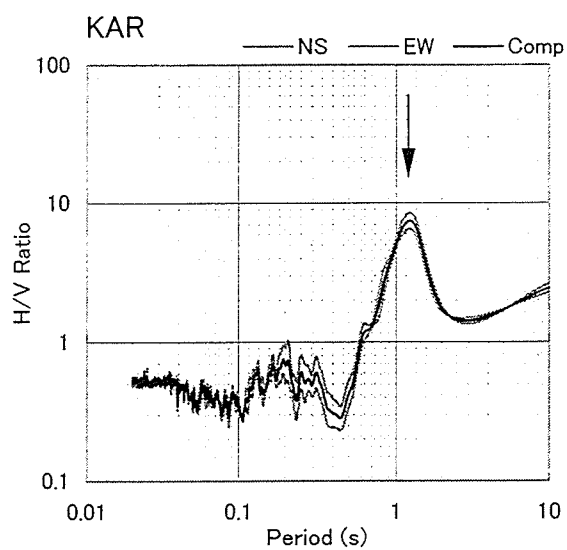
付録図1(2) 位相速度の分散曲線; 白丸は観測値, 実線は理論曲線



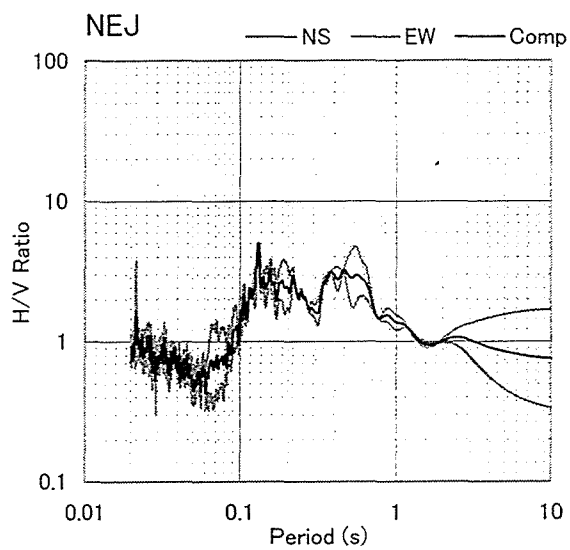
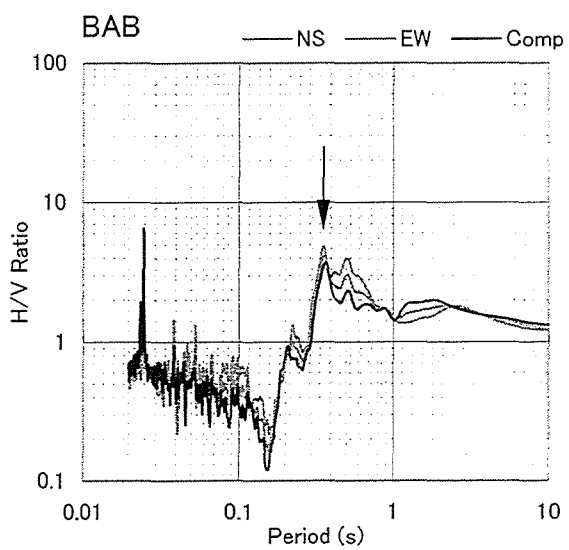
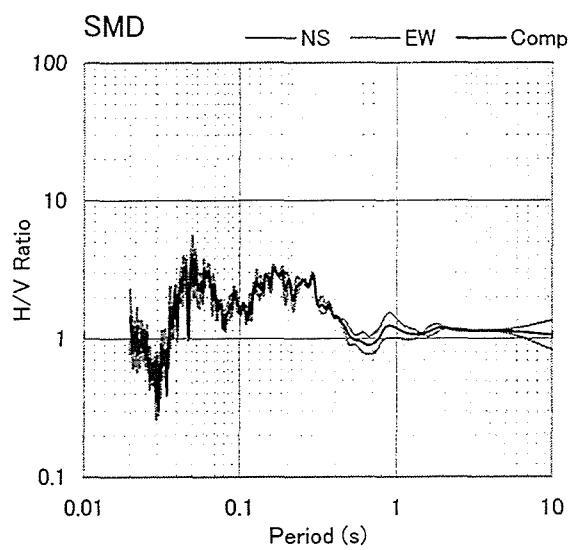
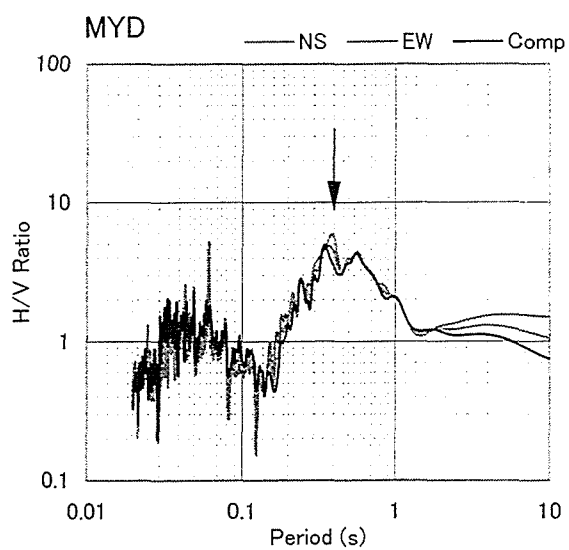
付録図1(2) 位相速度の分散曲線; 白丸は観測値, 実線は理論曲線



付録図2 アレイ中心点におけるH/V, 矢印はピーク的位置



付録図2 アレイ中心点におけるH/V, 矢印はピーク的位置



付録図2 アレイ中心点におけるH/V, 矢印はピークの位置



付録表1 H/Vのピーク周期読取値

| No.   | Peak Period (s) |
|-------|-----------------|
| ttr1  | 0.16            |
| ttr2  | 0.10            |
| ttr3  | 0.13            |
| ttr4  | 0.08            |
| ttr5  | 0.10            |
| ttr6  | 0.10            |
| ttr7  | 0.23            |
| ttr8  | 0.14            |
| ttr9  | 0.73            |
| ttr10 | 0.51            |
| ttr11 | 0.37            |
| ttr12 | 0.44            |
| ttr13 | 0.14            |
| ttr14 | 0.39            |
| ttr15 | 0.10            |
| ttr16 | 0.09            |
| ttr17 | 0.09            |
| ttr18 | 0.16            |
| ttr19 | 0.10            |
| ttr20 | 0.37            |
| ttr21 | 0.11            |
| ttr22 | 0.46            |
| ttr23 | 0.41            |
| ttr24 | 0.39            |
| ttr25 | 0.50            |
| ttr26 | 0.37            |
| ttr27 | 0.33            |
| ttr28 | 0.11            |
| ttr29 | 0.59            |
| ttr30 | 0.73            |
| ttr31 | 0.59            |
| ttr32 | 0.93            |
| ttr33 | 0.32            |
| ttr34 | 0.35            |
| ttr35 | 0.19            |
| ttr36 | 0.64            |
| ttr37 | 0.53            |
| ttr38 | 1.08            |
| ttr39 | 1.14            |
| ttr40 | 1.02            |
| ttr41 | 1.08            |
| ttr42 | 0.93            |
| ttr43 | 0.93            |
| ttr44 | -               |
| ttr45 | 1.14            |
| ttr46 | 0.51            |
| ttr47 | 0.12            |
| ttr48 | 0.21            |
| ttr49 | 0.76            |
| ttr50 | 0.12            |
| ttr51 | 0.09            |
| ttr52 | 0.18            |
| ttr53 | 0.23            |
| ttr54 | 0.23            |
| ttr55 | 0.31            |
| ttr56 | 0.32            |
| ttr57 | 0.16            |
| ttr58 | -               |
| ttr59 | 0.16            |
| ttr60 | 0.20            |
| ttr61 | 0.38            |
| ttr62 | 0.36            |
| ttr63 | 0.33            |
| ttr64 | 0.37            |
| ttr65 | 0.54            |

| No.    | Peak Period (s) |
|--------|-----------------|
| ttr66  | 0.47            |
| ttr67  | 0.42            |
| ttr68  | 0.48            |
| ttr69  | 0.53            |
| ttr70  | 0.36            |
| ttr71  | 0.35            |
| ttr72  | 0.35            |
| ttr73  | 0.48            |
| ttr74  | 0.54            |
| ttr75  | 0.60            |
| ttr76  | 0.59            |
| ttr77  | 0.50            |
| ttr78  | 0.54            |
| ttr79  | 0.50            |
| ttr80  | 0.51            |
| ttr81  | 0.51            |
| ttr82  | 0.37            |
| ttr83  | 0.55            |
| ttr84  | 0.57            |
| ttr85  | 0.64            |
| ttr86  | 0.73            |
| ttr87  | 0.64            |
| ttr88  | 0.73            |
| ttr89  | 0.57            |
| ttr90  | 0.49            |
| ttr91  | 0.49            |
| ttr92  | 0.62            |
| ttr93  | 0.66            |
| ttr94  | 0.46            |
| ttr95  | 0.34            |
| ttr96  | 0.48            |
| ttr97  | 0.57            |
| ttr98  | 0.57            |
| ttr99  | 0.76            |
| ttr100 | 0.76            |
| ttr101 | 0.68            |
| ttr102 | 0.66            |
| ttr103 | 0.66            |
| ttr104 | 0.53            |
| ttr105 | 0.57            |
| ttr106 | 0.71            |
| ttr107 | 0.59            |
| ttr108 | 0.66            |
| ttr109 | 0.53            |
| ttr110 | 0.39            |
| ttr111 | 0.42            |
| ttr112 | 0.42            |
| ttr113 | 0.50            |
| ttr114 | 0.35            |
| ttr115 | 0.38            |
| ttr116 | 0.32            |
| ttr117 | 0.38            |
| ttr118 | 0.26            |
| ttr119 | 0.34            |
| ttr120 | 0.24            |
| ttr121 | 0.38            |
| ttr122 | 0.30            |
| ttr123 | 0.35            |
| ttr124 | 0.38            |
| ttr125 | 0.47            |
| ttr126 | 0.38            |
| ttr127 | 0.57            |
| ttr128 | 0.48            |
| ttr129 | 0.57            |
| ttr130 | 0.44            |

| No.    | Peak Period (s) |
|--------|-----------------|
| ttr131 | 0.46            |
| ttr132 | 0.39            |
| ttr133 | 0.31            |
| ttr134 | 0.49            |
| ttr135 | 0.73            |
| ttr136 | 0.47            |
| ttr137 | 0.82            |
| ttr138 | 0.51            |
| ttr139 | 0.39            |
| ttr140 | 0.64            |
| ttr141 | 0.48            |
| ttr142 | 0.59            |
| ttr143 | 0.51            |
| ttr144 | 0.49            |
| ttr145 | 0.25            |
| ttr146 | 0.35            |
| ttr147 | 0.66            |
| ttr148 | 0.73            |
| ttr149 | 0.49            |
| ttr150 | 0.48            |
| ttr151 | 0.48            |
| ttr152 | 0.51            |
| ttr153 | 0.51            |
| ttr154 | 0.54            |
| ttr155 | 0.08            |
| ttr156 | 0.21            |
| ttr157 | -               |
| ttr158 | 0.53            |
| ttr159 | 0.53            |
| ttr160 | 0.30            |
| ttr161 | 0.26            |
| ttr162 | 0.44            |
| ttr163 | 0.54            |
| ttr164 | 0.43            |
| ttr165 | 0.48            |
| ttr166 | 0.31            |
| ttr167 | 0.21            |
| ttr168 | 0.73            |
| ttr169 | 0.13            |
| ttr170 | 0.42            |
| ttr171 | 0.40            |
| ttr172 | 0.27            |
| ttr173 | 0.20            |
| ttr174 | 0.07            |
| ttr175 | 0.18            |
| ttr176 | 0.21            |
| ttr177 | 0.07            |
| ttr178 | -               |
| ttr179 | -               |
| ttr180 | -               |
| ttr181 | 0.19            |
| ttr182 | 0.21            |
| ttr183 | 0.21            |
| ttr184 | 0.11            |
| ttr185 | 1.08            |
| ttr186 | 0.93            |
| ttr187 | 0.35            |
| ttr188 | 0.21            |
| ttr189 | 0.47            |
| ttr190 | 0.68            |
| ttr191 | 0.45            |
| ttr192 | 0.38            |
| ttr193 | 0.40            |
| ttr194 | 0.64            |
| ttr195 | 0.82            |

| No.    | Peak Period (s) |
|--------|-----------------|
| ttr196 | 0.68            |
| ttr197 | 0.76            |
| ttr198 | 0.20            |
| ttr199 | 0.64            |
| ttr200 | 0.82            |
| ttr201 | 0.79            |
| ttr202 | 0.59            |
| ttr203 | 0.73            |
| ttr204 | 0.22            |
| ttr205 | 0.45            |
| ttr206 | 0.79            |
| ttr207 | 0.89            |
| ttr208 | 0.79            |
| ttr209 | 0.82            |
| ttr210 | 0.98            |
| ttr211 | 1.20            |
| ttr212 | 1.14            |
| ttr213 | 1.02            |
| ttr214 | 0.89            |
| ttr215 | 1.14            |
| ttr216 | 1.20            |
| ttr217 | 1.08            |
| ttr218 | 0.89            |
| ttr219 | 0.49            |
| ttr220 | 0.93            |
| ttr221 | 0.93            |
| ttr222 | 0.53            |
| ttr223 | 0.73            |
| ttr224 | 1.28            |
| ttr225 | 0.71            |
| ttr226 | 0.60            |
| ttr227 | 1.02            |
| ttr228 | 1.08            |
| ttr229 | 1.02            |
| ttr230 | 1.02            |
| ttr231 | 0.18            |
| ttr232 | 0.76            |
| ttr233 | 0.89            |
| ttr234 | 0.62            |
| ttr235 | 0.76            |
| ttr236 | 0.76            |
| ttr237 | 0.62            |
| ttr238 | 1.08            |
| ttr239 | 0.57            |
| ttr240 | 0.85            |
| ttr241 | 1.14            |
| ttr242 | 1.20            |
| ttr243 | 1.14            |
| ttr244 | 1.14            |
| ttr245 | 0.76            |
| ttr246 | 0.48            |
| ttr247 | 0.34            |
| ttr248 | 0.50            |
| ttr249 | 0.79            |
| ttr250 | 1.02            |
| ttr251 | 0.26            |
| ttr252 | 0.89            |
| ttr253 | 0.89            |
| ttr254 | 0.93            |
| ttr255 | 0.93            |
| ttr256 | 0.89            |
| ttr257 | 0.98            |
| ttr258 | 0.93            |
| ttr259 | 0.98            |
| ttr260 | 0.38            |

付録表1 H/Vのピーク周期読取値

| No.    | Peak Period (s) |
|--------|-----------------|
| ttr261 | 0.37            |
| ttr262 | 0.66            |
| ttr263 | 0.44            |
| ttr264 | 0.60            |
| ttr265 | 0.68            |
| ttr266 | 0.89            |
| ttrp1  | 0.71            |
| ttrp2  | 0.71            |
| ttrp3  | 0.71            |
| ttrp4  | 0.68            |
| ttrp5  | 0.82            |
| ttrp6  | 0.73            |
| ttrp7  | 0.68            |
| ttrp8  | 0.76            |
| ttrp9  | 0.71            |
| ttrp10 | 0.77            |
| ttrp11 | 0.77            |
| ttrp12 | 0.76            |
| ttrp13 | -               |
| ttrp14 | 0.47            |
| ttrp15 | 0.57            |
| ttrp16 | 0.44            |
| ttrp17 | 0.59            |
| ttrp18 | 0.77            |
| ttrp19 | 0.56            |
| ttrp20 | 0.63            |
| ttrp21 | 0.59            |
| ttrp22 | 0.59            |
| ttrp23 | 0.50            |
| ttrp24 | 0.39            |
| ttrp25 | 0.62            |
| ttrp26 | 0.57            |
| ttrp27 | 0.50            |
| ttrp28 | 0.48            |
| ttrp29 | 0.55            |
| ttrp30 | 0.46            |
| ttrp31 | 0.40            |
| ttrp32 | 0.38            |
| ttrp33 | 0.50            |
| ttrp34 | 0.53            |
| ttrp35 | 0.47            |
| ttrp36 | 0.34            |
| ttrp37 | 0.44            |
| ttrp38 | 0.36            |
| ttrp39 | 0.74            |
| ttrp40 | 0.83            |
| ttrp41 | 0.36            |
| ttrp42 | 0.91            |
| ttrp43 | 1.06            |
| ttrp44 | 0.95            |
| ttrp45 | 0.74            |
| ttrp46 | 0.36            |
| ttrp47 | 0.56            |
| ttrp48 | 0.41            |
| ttrp49 | -               |
| ttrp50 | 0.50            |
| ttrp51 | 0.49            |
| ttrp52 | 0.56            |
| ttrp53 | 0.56            |
| ttrp54 | 0.57            |
| ttrp55 | 0.56            |
| ttrp56 | 0.57            |
| ttrp57 | 0.67            |
| ttrp58 | 0.56            |
| ttrp59 | 0.59            |

| No.     | Peak Period (s) |
|---------|-----------------|
| ttrp60  | 1.05            |
| ttrp61  | 1.08            |
| ttrp62  | 1.09            |
| ttrp63  | 0.91            |
| ttrp64  | 1.05            |
| ttrp65  | 0.80            |
| ttrp66  | 0.80            |
| ttrp67  | 0.83            |
| ttrp68  | 1.00            |
| ttrp69  | 0.59            |
| ttrp70  | 1.00            |
| ttrp71  | 0.77            |
| ttrp72  | 0.74            |
| ttrp73  | 0.82            |
| ttrp74  | 0.82            |
| ttrp75  | 0.73            |
| ttrp76  | 0.76            |
| ttrp77  | 0.53            |
| ttrp78  | 0.77            |
| ttrp79  | 0.74            |
| ttrp80  | 0.54            |
| ttrp81  | 0.76            |
| ttrp82  | 0.74            |
| ttrp83  | 0.57            |
| ttrp84  | 0.54            |
| ttrp85  | 0.54            |
| ttrp86  | 0.59            |
| ttrp87  | 1.18            |
| ttrp88  | 0.82            |
| ttrp89  | 0.76            |
| ttrp90  | 0.82            |
| ttrp91  | 1.02            |
| ttrp92  | 1.02            |
| ttrp93  | 1.08            |
| ttrp94  | 1.02            |
| ttrp95  | 0.98            |
| ttrp96  | 0.91            |
| ttrp97  | 0.89            |
| ttrp98  | 0.85            |
| ttrp99  | 0.85            |
| ttrp100 | 0.79            |
| ttrp101 | 0.76            |
| ttrp102 | 0.76            |
| ttrp103 | 0.85            |
| ttrp104 | 0.83            |
| ttrp105 | 0.77            |
| ttrp106 | 0.83            |
| ttrp107 | 0.77            |
| ttrp108 | 0.71            |
| ttrp109 | 0.59            |
| ttrp110 | 0.59            |
| ttrp111 | 0.59            |
| ttrp112 | 0.56            |
| ttrp113 | 0.56            |
| ttrp114 | 0.53            |
| ttrp115 | 0.60            |
| ttrp116 | 0.74            |
| ttrp117 | 0.74            |
| ttrp118 | 0.74            |
| ttrp119 | 0.49            |
| ttrp120 | 0.77            |
| ttrp121 | 0.74            |
| ttrp122 | 0.40            |
| ttrp123 | 0.42            |
| ttrp124 | 0.77            |

| No.     | Peak Period (s) |
|---------|-----------------|
| ttrp125 | 0.77            |
| ttrp126 | 0.74            |
| ttrp127 | 0.62            |
| ttrp128 | 0.62            |
| ttrp129 | 0.59            |
| ttrp130 | 0.62            |
| ttrp131 | 0.66            |
| ttrp132 | 0.60            |

ピーク値2以上を読み取る  
 ピークが複数の場合は長周期側を読む  
 - は読み取り不可

付録表2 重力測定データ

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 27.9668 | 134 | 17.7979 | 44.8  | 979780.403      |
| 35 | 27.7429 | 134 | 17.8174 | 48.1  | 979778.804      |
| 35 | 27.8799 | 134 | 17.3740 | 39.0  | 979781.212      |
| 35 | 28.0217 | 134 | 17.5449 | 40.1  | 979781.376      |
| 35 | 28.0874 | 134 | 17.3906 | 38.6  | 979782.106      |
| 35 | 28.3047 | 134 | 17.2012 | 35.9  | 979783.822      |
| 35 | 28.0723 | 134 | 16.8125 | 30.2  | 979784.410      |
| 35 | 28.3120 | 134 | 16.6318 | 24.7  | 979785.525      |
| 35 | 28.0188 | 134 | 16.5410 | 25.7  | 979784.581      |
| 35 | 27.7317 | 134 | 16.5498 | 27.3  | 979783.008      |
| 35 | 27.7397 | 134 | 16.8281 | 34.3  | 979782.158      |
| 35 | 27.7407 | 134 | 17.1992 | 39.3  | 979781.548      |
| 35 | 27.7505 | 134 | 16.2051 | 21.8  | 979785.023      |
| 35 | 27.9814 | 134 | 16.2129 | 22.0  | 979785.423      |
| 35 | 28.3354 | 134 | 16.2412 | 19.3  | 979786.837      |
| 35 | 28.3423 | 134 | 15.9053 | 17.7  | 979787.440      |
| 35 | 28.3142 | 134 | 15.5469 | 13.7  | 979787.609      |
| 35 | 28.0884 | 134 | 15.6045 | 13.7  | 979786.917      |
| 35 | 27.9917 | 134 | 15.8438 | 16.7  | 979786.108      |
| 35 | 27.7703 | 134 | 15.8691 | 17.2  | 979785.878      |
| 35 | 27.8125 | 134 | 15.5254 | 11.6  | 979786.750      |
| 35 | 27.8079 | 134 | 15.2256 | 10.6  | 979786.602      |
| 35 | 27.5173 | 134 | 15.2188 | 11.0  | 979786.062      |
| 35 | 27.5190 | 134 | 15.5254 | 12.8  | 979785.887      |
| 35 | 27.2896 | 134 | 15.6035 | 14.4  | 979784.902      |
| 35 | 27.2788 | 134 | 15.2334 | 14.7  | 979785.234      |
| 35 | 27.2673 | 134 | 14.8965 | 13.3  | 979784.478      |
| 35 | 26.9900 | 134 | 14.8281 | 17.6  | 979783.088      |
| 35 | 27.1797 | 134 | 14.5068 | 16.1  | 979783.334      |
| 35 | 26.3914 | 134 | 14.1025 | 39.2  | 979777.440      |
| 35 | 26.6887 | 134 | 14.1348 | 32.4  | 979778.601      |
| 35 | 26.7349 | 134 | 13.8213 | 51.6  | 979776.071      |
| 35 | 26.7817 | 134 | 14.4375 | 26.8  | 979780.619      |
| 35 | 27.0256 | 134 | 14.5000 | 20.6  | 979782.466      |
| 35 | 27.2795 | 134 | 14.2061 | 13.1  | 979783.733      |
| 35 | 27.2712 | 134 | 13.8643 | 12.5  | 979784.265      |
| 35 | 27.3350 | 134 | 13.5293 | 11.4  | 979784.604      |
| 35 | 27.3352 | 134 | 13.2021 | 9.3   | 979784.892      |
| 35 | 27.0222 | 134 | 13.4512 | 12.8  | 979783.596      |
| 35 | 27.0386 | 134 | 13.1709 | 11.0  | 979783.876      |
| 35 | 26.7632 | 134 | 13.0713 | 18.4  | 979781.144      |
| 35 | 26.4766 | 134 | 12.8584 | 14.6  | 979781.088      |
| 35 | 26.2542 | 134 | 12.7861 | 16.2  | 979780.032      |
| 35 | 25.9229 | 134 | 12.8916 | 16.8  | 979778.661      |
| 35 | 25.7009 | 134 | 12.7793 | 18.4  | 979779.028      |
| 35 | 25.6211 | 134 | 12.4707 | 18.6  | 979777.875      |
| 35 | 25.9419 | 134 | 12.4844 | 17.1  | 979778.714      |
| 35 | 26.2371 | 134 | 12.4736 | 15.8  | 979780.475      |
| 35 | 26.5156 | 134 | 12.5371 | 14.5  | 979781.437      |
| 35 | 26.7698 | 134 | 12.5244 | 12.8  | 979782.669      |
| 35 | 26.5854 | 134 | 12.1475 | 17.9  | 979781.332      |
| 35 | 26.7659 | 134 | 11.9043 | 20.9  | 979782.080      |
| 35 | 26.7729 | 134 | 12.1553 | 14.7  | 979783.073      |
| 35 | 26.9834 | 134 | 12.7871 | 12.4  | 979783.508      |
| 35 | 27.0422 | 134 | 12.4688 | 12.2  | 979783.878      |
| 35 | 27.3564 | 134 | 12.1689 | 11.7  | 979785.152      |
| 35 | 27.0537 | 134 | 12.1426 | 13.7  | 979783.749      |
| 35 | 27.5510 | 134 | 12.5596 | 10.7  | 979786.268      |
| 35 | 27.5493 | 134 | 12.7324 | 10.4  | 979785.752      |
| 35 | 27.4377 | 134 | 12.5439 | 10.7  | 979785.586      |
| 35 | 27.3245 | 134 | 12.5361 | 12.0  | 979784.605      |
| 35 | 27.3223 | 134 | 12.7764 | 11.3  | 979784.536      |
| 35 | 27.5867 | 134 | 12.2471 | 11.2  | 979786.416      |
| 35 | 27.7188 | 134 | 12.5537 | 10.2  | 979786.938      |
| 35 | 27.8367 | 134 | 12.7344 | 9.7   | 979787.779      |
| 35 | 27.8440 | 134 | 12.5107 | 10.0  | 979787.781      |

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 27.9077 | 134 | 12.2334 | 12.5  | 979788.076      |
| 35 | 28.1196 | 134 | 12.2646 | 9.6   | 979789.349      |
| 35 | 28.0825 | 134 | 12.6064 | 10.7  | 979788.393      |
| 35 | 27.9832 | 134 | 12.4961 | 10.9  | 979788.177      |
| 35 | 27.5195 | 134 | 14.8271 | 10.0  | 979785.205      |
| 35 | 27.5278 | 134 | 14.5947 | 9.8   | 979785.047      |
| 35 | 27.5303 | 134 | 14.2197 | 9.5   | 979785.047      |
| 35 | 27.5347 | 134 | 13.8584 | 11.3  | 979784.746      |
| 35 | 27.5835 | 134 | 13.5010 | 9.0   | 979785.407      |
| 35 | 27.5305 | 134 | 13.2344 | 10.0  | 979785.658      |
| 35 | 27.8230 | 134 | 13.2324 | 9.3   | 979786.765      |
| 35 | 27.8093 | 134 | 13.5088 | 8.9   | 979786.290      |
| 35 | 27.7854 | 134 | 13.9512 | 9.7   | 979785.809      |
| 35 | 27.7646 | 134 | 14.2334 | 9.7   | 979785.951      |
| 35 | 27.7546 | 134 | 14.4600 | 10.5  | 979785.693      |
| 35 | 27.7434 | 134 | 14.8887 | 10.5  | 979785.745      |
| 35 | 28.0364 | 134 | 15.2285 | 10.6  | 979786.630      |
| 35 | 28.0715 | 134 | 14.9785 | 10.2  | 979786.652      |
| 35 | 28.1160 | 134 | 14.6895 | 9.2   | 979786.719      |
| 35 | 28.1289 | 134 | 14.1914 | 8.7   | 979787.151      |
| 35 | 28.0774 | 134 | 13.8721 | 9.6   | 979786.677      |
| 35 | 28.1804 | 134 | 13.5020 | 10.7  | 979787.892      |
| 35 | 28.0654 | 134 | 13.1377 | 11.1  | 979788.045      |
| 35 | 28.3240 | 134 | 13.1602 | 10.0  | 979789.152      |
| 35 | 28.6226 | 134 | 13.2129 | 8.3   | 979789.846      |
| 35 | 28.6768 | 134 | 13.5498 | 11.1  | 979789.067      |
| 35 | 28.4229 | 134 | 13.6504 | 8.3   | 979788.658      |
| 35 | 28.3411 | 134 | 13.9668 | 7.9   | 979788.473      |
| 35 | 28.6345 | 134 | 13.9453 | 8.7   | 979789.549      |
| 35 | 28.3201 | 134 | 14.2705 | 12.0  | 979787.575      |
| 35 | 28.4099 | 134 | 14.5176 | 9.3   | 979788.705      |
| 35 | 28.3652 | 134 | 14.9111 | 24.6  | 979785.403      |
| 35 | 28.5981 | 134 | 14.9365 | 11.3  | 979789.264      |
| 35 | 28.5410 | 134 | 14.5908 | 8.5   | 979788.872      |
| 35 | 28.6204 | 134 | 14.2559 | 7.6   | 979789.425      |
| 35 | 28.9341 | 134 | 13.6172 | 7.9   | 979790.440      |
| 35 | 28.9688 | 134 | 13.2656 | 8.6   | 979790.657      |
| 35 | 28.0718 | 134 | 12.8086 | 8.9   | 979788.608      |
| 35 | 28.4045 | 134 | 12.8672 | 7.4   | 979789.753      |
| 35 | 28.3438 | 134 | 12.5557 | 7.5   | 979789.668      |
| 35 | 28.2019 | 134 | 12.5742 | 9.6   | 979789.048      |
| 35 | 28.4106 | 134 | 12.3223 | 9.4   | 979790.202      |
| 35 | 28.5386 | 134 | 12.5977 | 7.6   | 979789.922      |
| 35 | 28.6196 | 134 | 12.5352 | 7.6   | 979790.155      |
| 35 | 28.6484 | 134 | 12.8174 | 6.4   | 979789.985      |
| 35 | 28.9211 | 134 | 12.8857 | 4.4   | 979790.916      |
| 35 | 28.7808 | 134 | 12.5850 | 8.1   | 979790.578      |
| 35 | 28.8997 | 134 | 12.5938 | 9.0   | 979791.075      |
| 35 | 29.0234 | 134 | 12.5967 | 7.3   | 979791.136      |
| 35 | 29.1318 | 134 | 12.8770 | 6.8   | 979791.701      |
| 35 | 29.1348 | 134 | 12.5879 | 8.3   | 979791.737      |
| 35 | 29.2937 | 134 | 12.6572 | 7.7   | 979792.182      |
| 35 | 29.4751 | 134 | 12.6133 | 7.7   | 979792.478      |
| 35 | 27.1001 | 134 | 10.2012 | 73.2  | 979775.154      |
| 35 | 27.3181 | 134 | 10.2109 | 59.9  | 979778.524      |
| 35 | 27.6089 | 134 | 10.5537 | 44.9  | 979782.236      |
| 35 | 27.8801 | 134 | 10.9541 | 33.7  | 979787.064      |
| 35 | 28.0876 | 134 | 11.2510 | 25.4  | 979788.021      |
| 35 | 28.3909 | 134 | 11.5537 | 15.3  | 979790.443      |
| 35 | 28.6777 | 134 | 11.9063 | 11.0  | 979791.463      |
| 35 | 28.9104 | 134 | 11.9590 | 10.8  | 979792.199      |
| 35 | 29.1707 | 134 | 12.1816 | 9.6   | 979793.477      |
| 35 | 27.3003 | 134 | 8.8633  | 75.3  | 979774.678      |
| 35 | 27.5510 | 134 | 8.5781  | 78.1  | 979775.430      |
| 35 | 27.7900 | 134 | 8.9033  | 63.1  | 979779.880      |
| 35 | 28.1531 | 134 | 9.2744  | 44.9  | 979784.889      |

付録表2 重力測定データ

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 28.1467 | 134 | 9.6250  | 39.2  | 979786.508      |
| 35 | 27.8777 | 134 | 9.5703  | 52.1  | 979782.386      |
| 35 | 27.9175 | 134 | 9.3271  | 52.9  | 979782.220      |
| 35 | 27.6404 | 134 | 8.9404  | 60.4  | 979779.970      |
| 35 | 28.1484 | 134 | 9.9063  | 35.2  | 979786.908      |
| 35 | 28.4099 | 134 | 9.9814  | 31.5  | 979788.516      |
| 35 | 28.4175 | 134 | 10.2461 | 27.8  | 979788.923      |
| 35 | 28.6655 | 134 | 10.6094 | 21.2  | 979790.520      |
| 35 | 28.4124 | 134 | 9.6768  | 38.2  | 979787.512      |
| 35 | 28.6648 | 134 | 9.9482  | 33.1  | 979789.097      |
| 35 | 28.6841 | 134 | 10.2881 | 24.4  | 979790.105      |
| 35 | 28.9409 | 134 | 10.6035 | 17.1  | 979791.846      |
| 35 | 28.9524 | 134 | 10.9229 | 14.2  | 979792.149      |
| 35 | 28.8909 | 134 | 11.2949 | 13.1  | 979791.521      |
| 35 | 29.1731 | 134 | 10.9824 | 12.4  | 979793.453      |
| 35 | 29.1814 | 134 | 11.2637 | 11.7  | 979793.323      |
| 35 | 29.2092 | 134 | 11.6309 | 9.6   | 979793.334      |
| 35 | 29.4587 | 134 | 11.5303 | 7.9   | 979794.185      |
| 35 | 29.4521 | 134 | 11.3154 | 10.6  | 979794.536      |
| 35 | 30.0420 | 134 | 10.5713 | 5.2   | 979798.143      |
| 35 | 30.0496 | 134 | 11.1133 | 5.9   | 979796.909      |
| 35 | 30.0159 | 134 | 11.3154 | 5.6   | 979796.829      |
| 35 | 30.0361 | 134 | 11.6748 | 6.7   | 979795.965      |
| 35 | 29.8867 | 134 | 12.4580 | 8.7   | 979794.130      |
| 35 | 30.0303 | 134 | 12.2910 | 7.3   | 979794.435      |
| 35 | 30.0532 | 134 | 11.9658 | 7.6   | 979795.480      |
| 35 | 29.9705 | 134 | 12.8535 | 8.0   | 979793.116      |
| 35 | 29.9468 | 134 | 12.6279 | 9.2   | 979793.137      |
| 35 | 29.7117 | 134 | 12.9229 | 8.0   | 979792.605      |
| 35 | 29.7249 | 134 | 12.5801 | 4.8   | 979793.157      |
| 35 | 29.7117 | 134 | 11.9580 | 8.2   | 979795.168      |
| 35 | 30.3640 | 134 | 10.9609 | 4.7   | 979796.776      |
| 35 | 30.2886 | 134 | 11.3418 | 5.3   | 979795.713      |
| 35 | 30.2783 | 134 | 11.6191 | 6.9   | 979795.301      |
| 35 | 30.2544 | 134 | 11.9805 | 6.6   | 979794.985      |
| 35 | 30.2671 | 134 | 12.3037 | 7.2   | 979794.532      |
| 35 | 30.1702 | 134 | 12.2969 | 7.7   | 979793.806      |
| 35 | 30.2556 | 134 | 12.6494 | 7.1   | 979793.850      |
| 35 | 28.6221 | 134 | 15.8096 | 14.6  | 979788.521      |
| 35 | 28.8750 | 134 | 15.9014 | 12.8  | 979789.309      |
| 35 | 28.8462 | 134 | 15.5391 | 13.7  | 979789.413      |
| 35 | 28.6865 | 134 | 15.5498 | 13.1  | 979788.796      |
| 35 | 28.6763 | 134 | 15.2549 | 11.3  | 979789.052      |
| 35 | 28.8962 | 134 | 15.2813 | 11.0  | 979790.060      |
| 35 | 29.3882 | 134 | 15.6357 | 11.9  | 979792.004      |
| 35 | 31.6995 | 134 | 13.2793 | 27.9  | 979795.289      |
| 35 | 31.9382 | 134 | 12.9990 | 22.3  | 979796.973      |
| 35 | 31.8123 | 134 | 12.6934 | 10.9  | 979800.155      |
| 35 | 31.8738 | 134 | 12.3193 | 13.4  | 979799.614      |
| 35 | 32.0649 | 134 | 12.1172 | 8.2   | 979801.056      |
| 35 | 31.6218 | 134 | 13.0283 | 27.3  | 979796.105      |
| 35 | 31.3279 | 134 | 13.2813 | 4.4   | 979799.185      |
| 35 | 31.3110 | 134 | 12.9756 | 5.1   | 979798.941      |
| 35 | 31.3599 | 134 | 12.7021 | 4.8   | 979799.170      |
| 35 | 31.0820 | 134 | 13.3779 | 5.3   | 979798.192      |
| 35 | 31.0452 | 134 | 12.9209 | 7.9   | 979797.509      |
| 35 | 32.1399 | 134 | 11.6104 | 5.3   | 979802.524      |
| 35 | 32.2046 | 134 | 11.7832 | 5.2   | 979802.350      |
| 35 | 31.9463 | 134 | 11.9238 | 3.3   | 979801.691      |
| 35 | 32.1060 | 134 | 11.2666 | 9.4   | 979801.559      |
| 35 | 31.9172 | 134 | 11.0439 | 13.3  | 979800.836      |
| 35 | 31.8689 | 134 | 11.3936 | 27.3  | 979796.991      |
| 35 | 31.5532 | 134 | 11.0498 | 12.2  | 979798.556      |
| 35 | 31.6111 | 134 | 11.3398 | 11.2  | 979798.971      |
| 35 | 31.6418 | 134 | 11.7080 | 28.9  | 979795.199      |
| 35 | 31.6304 | 134 | 12.0205 | 2.2   | 979800.494      |

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 31.8945 | 134 | 11.7148 | 5.3   | 979801.563      |
| 35 | 31.3547 | 134 | 12.3428 | 5.0   | 979799.133      |
| 35 | 31.3706 | 134 | 11.9697 | 5.1   | 979798.512      |
| 35 | 31.3386 | 134 | 11.6768 | 5.1   | 979797.437      |
| 35 | 31.1653 | 134 | 11.8184 | 5.0   | 979796.948      |
| 35 | 31.1313 | 134 | 11.6650 | 4.1   | 979796.825      |
| 35 | 31.0547 | 134 | 12.0967 | 5.6   | 979796.864      |
| 35 | 31.0200 | 134 | 12.4492 | 6.2   | 979796.889      |
| 35 | 30.7871 | 134 | 12.6563 | 6.9   | 979796.263      |
| 35 | 30.7803 | 134 | 12.3672 | 5.3   | 979796.334      |
| 35 | 30.5339 | 134 | 12.3496 | 7.6   | 979795.349      |
| 35 | 30.5276 | 134 | 12.4902 | 6.8   | 979795.476      |
| 35 | 30.5403 | 134 | 12.6426 | 7.4   | 979795.321      |
| 35 | 30.5442 | 134 | 12.1406 | 6.6   | 979795.481      |
| 35 | 30.5852 | 134 | 11.6641 | 6.7   | 979795.083      |
| 35 | 30.5447 | 134 | 11.8242 | 6.9   | 979795.640      |
| 35 | 30.5085 | 134 | 11.9492 | 6.9   | 979794.991      |
| 35 | 30.8279 | 134 | 11.9033 | 5.9   | 979795.840      |
| 35 | 30.9619 | 134 | 11.8682 | 5.6   | 979796.345      |
| 35 | 30.8372 | 134 | 11.7002 | 6.1   | 979795.793      |
| 35 | 30.5669 | 134 | 10.0244 | 3.9   | 979799.514      |
| 35 | 30.5623 | 134 | 10.1533 | 4.5   | 979799.365      |
| 35 | 30.5610 | 134 | 10.6846 | 5.7   | 979796.717      |
| 35 | 30.5354 | 134 | 10.8105 | 4.6   | 979796.838      |
| 35 | 30.5332 | 134 | 11.0059 | 4.8   | 979796.459      |
| 35 | 30.5598 | 134 | 11.1768 | 2.1   | 979796.156      |
| 35 | 30.5750 | 134 | 11.3457 | 5.8   | 979796.182      |
| 35 | 30.5955 | 134 | 11.5254 | 6.2   | 979795.560      |
| 35 | 30.8423 | 134 | 11.3535 | 5.9   | 979796.310      |
| 35 | 30.8794 | 134 | 11.0361 | 7.7   | 979795.974      |
| 35 | 30.8389 | 134 | 10.6582 | 17.3  | 979794.529      |
| 35 | 30.7849 | 134 | 10.2607 | 3.8   | 979799.537      |
| 35 | 29.5461 | 134 | 12.5850 | 8.2   | 979792.826      |
| 35 | 29.7288 | 134 | 12.3066 | 11.7  | 979793.579      |
| 35 | 29.4565 | 134 | 12.3643 | 9.1   | 979793.450      |
| 35 | 29.7788 | 134 | 11.5674 | 7.7   | 979795.924      |
| 35 | 29.6597 | 134 | 11.2256 | 31.4  | 979790.689      |
| 35 | 29.7764 | 134 | 10.8184 | 4.6   | 979796.779      |
| 35 | 29.8118 | 134 | 10.1826 | 7.8   | 979797.016      |
| 35 | 29.5125 | 134 | 9.3232  | 5.1   | 979798.179      |
| 35 | 29.5637 | 134 | 8.6377  | 1.8   | 979796.553      |
| 35 | 29.4592 | 134 | 8.3096  | 4.1   | 979794.419      |
| 35 | 29.7371 | 134 | 8.0225  | 3.2   | 979795.174      |
| 35 | 30.0671 | 134 | 7.8008  | 3.6   | 979796.284      |
| 35 | 30.5933 | 134 | 8.3359  | 3.4   | 979798.057      |
| 35 | 31.0640 | 134 | 7.9717  | 6.0   | 979795.149      |
| 35 | 31.1343 | 134 | 8.7012  | 19.4  | 979792.103      |
| 35 | 31.3953 | 134 | 8.7178  | 13.5  | 979792.677      |
| 35 | 31.3235 | 134 | 8.3682  | 9.3   | 979794.143      |
| 35 | 31.3855 | 134 | 9.1230  | 7.6   | 979796.190      |
| 35 | 31.3782 | 134 | 9.4053  | 5.9   | 979796.575      |
| 35 | 31.3362 | 134 | 9.7842  | 7.0   | 979798.301      |
| 35 | 31.2112 | 134 | 9.0850  | 8.5   | 979795.093      |
| 35 | 31.1709 | 134 | 9.3926  | 6.6   | 979796.586      |
| 35 | 31.1482 | 134 | 9.7734  | 3.8   | 979798.461      |
| 35 | 31.0696 | 134 | 10.0576 | 4.5   | 979799.274      |
| 35 | 31.1396 | 134 | 10.4463 | 12.7  | 979797.112      |
| 35 | 31.1716 | 134 | 10.7510 | 13.4  | 979796.856      |
| 35 | 31.0935 | 134 | 11.0957 | 12.8  | 979795.573      |
| 35 | 31.0732 | 134 | 11.3369 | 6.0   | 979796.697      |
| 35 | 31.3743 | 134 | 10.0957 | 17.2  | 979796.520      |
| 35 | 31.3767 | 134 | 10.4053 | 20.5  | 979796.285      |
| 35 | 31.3638 | 134 | 10.6895 | 16.1  | 979797.545      |
| 35 | 31.3750 | 134 | 11.0000 | 12.6  | 979797.376      |
| 35 | 30.5286 | 134 | 10.5313 | 5.0   | 979797.746      |
| 35 | 30.5757 | 134 | 7.6377  | 18.3  | 979794.639      |

付録表2 重力測定データ

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 31.0300 | 134 | 7.4629  | 66.6  | 979780.536      |
| 35 | 29.8291 | 134 | 6.3086  | 34.7  | 979786.624      |
| 35 | 29.2627 | 134 | 6.8682  | 26.2  | 979787.261      |
| 35 | 27.8516 | 134 | 7.1875  | 72.5  | 979773.658      |
| 35 | 28.4492 | 134 | 7.4971  | 38.7  | 979784.252      |
| 35 | 29.1531 | 134 | 7.7803  | 8.4   | 979790.782      |
| 35 | 28.7312 | 134 | 8.8281  | 44.9  | 979785.411      |
| 35 | 29.2561 | 134 | 9.6338  | 8.9   | 979796.256      |
| 35 | 31.7305 | 134 | 14.5664 | 69.6  | 979785.996      |
| 35 | 31.5818 | 134 | 15.7725 | 119.0 | 979773.704      |
| 35 | 31.5825 | 134 | 15.1455 | 68.6  | 979784.211      |
| 35 | 31.0571 | 134 | 15.6553 | 237.4 | 979748.131      |
| 35 | 30.9705 | 134 | 14.6611 | 53.6  | 979784.441      |
| 35 | 30.0461 | 134 | 14.7178 | 12.1  | 979793.449      |
| 35 | 29.9153 | 134 | 16.5986 | 35.8  | 979787.893      |
| 35 | 28.8496 | 134 | 16.6123 | 143.5 | 979761.629      |
| 35 | 29.8352 | 134 | 9.4600  | 6.0   | 979798.160      |
| 35 | 29.9888 | 134 | 9.3809  | 4.2   | 979798.613      |
| 35 | 32.0271 | 134 | 14.6904 | 36.2  | 979793.557      |
| 35 | 31.8579 | 134 | 14.7803 | 56.1  | 979789.051      |
| 35 | 31.5820 | 134 | 14.5596 | 70.5  | 979784.883      |
| 35 | 31.5029 | 134 | 14.3301 | 49.9  | 979788.614      |
| 35 | 32.3301 | 134 | 14.5703 | 68.3  | 979785.429      |
| 35 | 32.1880 | 134 | 14.5098 | 56.9  | 979788.394      |
| 35 | 32.1230 | 134 | 14.5195 | 40.8  | 979792.226      |
| 35 | 31.9609 | 134 | 13.9805 | 48.1  | 979789.522      |
| 35 | 31.9971 | 134 | 14.0303 | 50.4  | 979788.784      |
| 35 | 32.0320 | 134 | 14.0801 | 44.2  | 979790.701      |
| 35 | 32.0740 | 134 | 14.1299 | 32.4  | 979793.669      |
| 35 | 32.1289 | 134 | 14.0801 | 42.1  | 979791.668      |
| 35 | 32.0879 | 134 | 14.0303 | 36.0  | 979792.417      |
| 35 | 32.0400 | 134 | 13.9902 | 44.3  | 979790.589      |
| 35 | 32.0090 | 134 | 13.9502 | 48.9  | 979789.449      |
| 35 | 32.0439 | 134 | 13.9004 | 48.6  | 979789.631      |
| 35 | 32.0840 | 134 | 13.9404 | 45.6  | 979790.707      |
| 35 | 32.1250 | 134 | 13.9902 | 40.4  | 979791.927      |
| 35 | 32.2000 | 134 | 13.9805 | 37.7  | 979792.584      |
| 35 | 32.2380 | 134 | 14.0195 | 33.9  | 979793.829      |
| 35 | 32.2781 | 134 | 14.0703 | 34.9  | 979793.611      |
| 35 | 32.2400 | 134 | 14.1201 | 39.7  | 979792.236      |
| 35 | 32.2041 | 134 | 14.0801 | 40.0  | 979792.130      |
| 35 | 32.1609 | 134 | 13.9404 | 39.6  | 979792.144      |
| 35 | 32.1211 | 134 | 13.8896 | 46.4  | 979790.358      |
| 35 | 32.1641 | 134 | 14.0303 | 45.0  | 979791.099      |
| 35 | 32.2800 | 134 | 14.1602 | 43.7  | 979791.398      |
| 35 | 32.3530 | 134 | 14.2500 | 46.0  | 979790.492      |
| 35 | 32.3950 | 134 | 14.2100 | 36.2  | 979792.795      |
| 35 | 32.4351 | 134 | 14.1602 | 23.5  | 979796.221      |
| 35 | 32.3931 | 134 | 14.1104 | 22.2  | 979796.221      |
| 35 | 32.3560 | 134 | 14.1602 | 35.9  | 979792.929      |
| 35 | 32.3540 | 134 | 14.0703 | 24.8  | 979795.777      |
| 35 | 32.3149 | 134 | 14.0195 | 28.1  | 979794.817      |
| 35 | 32.5391 | 134 | 14.1904 | 25.4  | 979795.362      |
| 35 | 32.5681 | 134 | 14.1396 | 34.6  | 979793.006      |
| 35 | 32.4600 | 134 | 14.0498 | 46.1  | 979790.208      |
| 35 | 32.4790 | 134 | 13.9902 | 41.8  | 979791.261      |
| 35 | 32.5090 | 134 | 14.0801 | 48.6  | 979789.216      |
| 35 | 32.5129 | 134 | 14.0400 | 31.5  | 979793.705      |
| 35 | 32.5540 | 134 | 14.0898 | 24.9  | 979795.385      |
| 35 | 32.5559 | 134 | 14.0000 | 7.7   | 979799.220      |
| 35 | 32.5291 | 134 | 13.9404 | 10.2  | 979799.108      |
| 35 | 32.5859 | 134 | 14.0498 | 8.1   | 979799.288      |
| 35 | 32.5039 | 134 | 14.1504 | 25.8  | 979795.262      |
| 35 | 32.4741 | 134 | 14.2100 | 27.2  | 979794.695      |
| 35 | 32.4360 | 134 | 14.2598 | 38.6  | 979791.894      |
| 35 | 32.0371 | 134 | 13.7100 | 56.8  | 979788.484      |

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 32.0769 | 134 | 13.7500 | 54.1  | 979788.630      |
| 35 | 32.1169 | 134 | 13.7998 | 46.5  | 979790.107      |
| 35 | 32.1570 | 134 | 13.8398 | 39.4  | 979791.878      |
| 35 | 32.1960 | 134 | 13.8896 | 29.2  | 979794.332      |
| 35 | 32.2361 | 134 | 13.9297 | 25.1  | 979795.452      |
| 35 | 32.2749 | 134 | 13.9805 | 30.4  | 979794.588      |
| 35 | 32.3469 | 134 | 13.9805 | 22.2  | 979795.889      |
| 35 | 32.3120 | 134 | 13.9297 | 35.7  | 979792.887      |
| 35 | 32.2720 | 134 | 13.8799 | 20.7  | 979796.187      |
| 35 | 32.2319 | 134 | 13.8398 | 26.3  | 979795.046      |
| 35 | 32.0750 | 134 | 13.6602 | 60.2  | 979787.216      |
| 35 | 32.1150 | 134 | 13.7100 | 55.1  | 979787.994      |
| 35 | 32.1531 | 134 | 13.7500 | 42.6  | 979791.069      |
| 35 | 32.1931 | 134 | 13.7900 | 35.4  | 979792.592      |
| 35 | 32.4600 | 134 | 14.0498 | 46.1  | 979790.419      |
| 35 | 32.3040 | 134 | 13.7500 | 39.7  | 979791.682      |
| 35 | 32.2671 | 134 | 13.7002 | 49.9  | 979789.360      |
| 35 | 32.2280 | 134 | 13.6602 | 54.6  | 979788.240      |
| 35 | 32.1909 | 134 | 13.7100 | 51.3  | 979789.013      |
| 35 | 32.1521 | 134 | 13.6602 | 58.4  | 979787.548      |
| 35 | 32.1130 | 134 | 13.6201 | 56.7  | 979788.067      |
| 35 | 32.1890 | 134 | 13.6104 | 55.3  | 979788.293      |
| 35 | 32.2271 | 134 | 13.5703 | 52.3  | 979789.059      |
| 35 | 32.2649 | 134 | 13.6104 | 49.5  | 979789.631      |
| 35 | 32.3059 | 134 | 13.6602 | 44.3  | 979790.658      |
| 35 | 32.3420 | 134 | 13.7002 | 31.4  | 979793.948      |
| 35 | 32.3811 | 134 | 13.7500 | 23.5  | 979796.053      |
| 35 | 32.4189 | 134 | 13.7900 | 21.6  | 979796.459      |
| 35 | 32.4570 | 134 | 13.8398 | 17.3  | 979797.458      |
| 35 | 32.4980 | 134 | 13.8896 | 14.3  | 979797.889      |
| 35 | 32.4961 | 134 | 13.7900 | 5.4   | 979800.219      |
| 35 | 32.4561 | 134 | 13.6602 | 7.1   | 979800.147      |
| 35 | 32.4180 | 134 | 13.7002 | 12.1  | 979798.643      |
| 35 | 32.4580 | 134 | 13.7500 | 9.1   | 979799.314      |
| 35 | 32.3811 | 134 | 13.6504 | 20.1  | 979796.847      |
| 35 | 32.3420 | 134 | 13.6104 | 31.7  | 979793.844      |
| 35 | 32.3030 | 134 | 13.5596 | 37.9  | 979792.160      |
| 35 | 32.2639 | 134 | 13.5195 | 39.7  | 979791.854      |
| 35 | 32.2271 | 134 | 13.4697 | 40.0  | 979792.032      |
| 35 | 32.2639 | 134 | 13.4199 | 36.4  | 979792.352      |
| 35 | 32.3020 | 134 | 13.4697 | 33.8  | 979793.588      |
| 35 | 32.3401 | 134 | 13.5195 | 25.8  | 979795.225      |
| 35 | 32.3789 | 134 | 13.5596 | 19.2  | 979796.898      |
| 35 | 32.4170 | 134 | 13.6104 | 14.1  | 979798.467      |
| 35 | 32.4160 | 134 | 13.4199 | 6.8   | 979800.430      |
| 35 | 32.3779 | 134 | 13.3799 | 8.6   | 979800.130      |
| 35 | 32.3779 | 134 | 13.2900 | 8.0   | 979800.657      |
| 35 | 32.3391 | 134 | 13.2402 | 7.0   | 979800.860      |
| 35 | 32.3770 | 134 | 13.1797 | 10.4  | 979800.726      |
| 35 | 32.3010 | 134 | 13.1904 | 16.9  | 979798.815      |
| 35 | 32.3359 | 134 | 13.1396 | 16.5  | 979799.089      |
| 35 | 32.3020 | 134 | 13.3799 | 31.7  | 979794.421      |
| 35 | 32.3401 | 134 | 13.3301 | 17.0  | 979798.016      |
| 35 | 32.0400 | 134 | 13.8096 | 50.5  | 979789.517      |
| 35 | 32.0801 | 134 | 13.8496 | 51.5  | 979789.546      |
| 35 | 32.2500 | 134 | 13.7500 | 49.8  | 979789.573      |
| 35 | 32.4231 | 134 | 13.8896 | 35.9  | 979792.861      |
| 35 | 32.4580 | 134 | 13.9297 | 28.6  | 979794.732      |
| 35 | 32.3831 | 134 | 13.9404 | 43.0  | 979791.358      |
| 35 | 32.4250 | 134 | 14.0000 | 41.6  | 979791.544      |
| 35 | 32.3550 | 134 | 13.9004 | 34.9  | 979793.027      |
| 35 | 32.3191 | 134 | 13.8496 | 40.2  | 979791.846      |
| 35 | 31.5647 | 134 | 9.3682  | 6.4   | 979796.888      |
| 35 | 31.5527 | 134 | 9.6367  | 8.8   | 979796.516      |
| 35 | 31.5444 | 134 | 9.8574  | 12.7  | 979796.324      |
| 35 | 31.5325 | 134 | 10.0537 | 14.6  | 979796.671      |

付録表2 重力測定データ

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 31.4250 | 134 | 10.2646 | 16.1  | 979796.507      |
| 35 | 31.5527 | 134 | 10.2656 | 14.9  | 979797.641      |
| 35 | 31.5081 | 134 | 10.4043 | 17.8  | 979796.945      |
| 35 | 31.5000 | 134 | 10.7109 | 16.9  | 979797.363      |
| 35 | 31.6553 | 134 | 10.7998 | 18.0  | 979797.725      |
| 35 | 31.6741 | 134 | 10.4873 | 15.8  | 979798.303      |
| 35 | 31.7024 | 134 | 10.2832 | 14.7  | 979797.680      |
| 35 | 31.6519 | 134 | 10.0615 | 13.6  | 979797.101      |
| 35 | 31.7139 | 134 | 9.7939  | 7.4   | 979797.552      |
| 35 | 31.7227 | 134 | 9.6484  | 6.0   | 979797.516      |
| 35 | 32.4709 | 134 | 14.1201 | 19.0  | 979796.712      |
| 35 | 32.4231 | 134 | 14.0801 | 20.7  | 979796.031      |
| 35 | 32.3799 | 134 | 14.0303 | 23.2  | 979795.853      |
| 35 | 32.3181 | 134 | 14.1104 | 39.6  | 979792.021      |
| 35 | 32.3430 | 134 | 13.7900 | 39.2  | 979791.869      |
| 35 | 32.3821 | 134 | 13.8398 | 36.2  | 979792.768      |
| 35 | 28.5300 | 134 | 14.3896 | 6.3   | 979789.313      |
| 35 | 28.7100 | 134 | 14.2803 | 7.0   | 979789.875      |
| 35 | 28.5601 | 134 | 14.2197 | 7.8   | 979789.125      |
| 35 | 28.5801 | 134 | 13.9902 | 7.0   | 979789.438      |
| 35 | 28.7100 | 134 | 13.9102 | 6.7   | 979789.875      |
| 35 | 28.7300 | 134 | 14.0498 | 6.2   | 979790.063      |
| 35 | 28.8401 | 134 | 13.9102 | 6.9   | 979790.250      |
| 35 | 28.9700 | 134 | 13.8096 | 11.3  | 979789.438      |
| 35 | 28.8799 | 134 | 13.7100 | 6.6   | 979790.250      |
| 35 | 28.7700 | 134 | 13.7803 | 6.8   | 979789.875      |
| 35 | 28.5801 | 134 | 13.7402 | 10.1  | 979788.625      |
| 35 | 28.7300 | 134 | 13.6396 | 6.7   | 979789.750      |
| 35 | 28.5801 | 134 | 13.5303 | 7.2   | 979789.375      |
| 35 | 28.5100 | 134 | 13.4004 | 7.5   | 979789.313      |
| 35 | 28.6399 | 134 | 13.3496 | 7.1   | 979789.688      |
| 35 | 28.5300 | 134 | 13.1504 | 7.1   | 979789.813      |
| 35 | 28.6499 | 134 | 13.0703 | 11.2  | 979789.063      |
| 35 | 28.7200 | 134 | 13.2402 | 6.8   | 979789.938      |
| 35 | 28.8501 | 134 | 13.1299 | 6.1   | 979790.500      |
| 35 | 29.0200 | 134 | 13.1299 | 10.5  | 979790.250      |
| 35 | 28.8401 | 134 | 13.3203 | 6.9   | 979790.250      |
| 35 | 29.0200 | 134 | 13.3398 | 6.8   | 979790.813      |
| 35 | 29.1699 | 134 | 13.1699 | 7.3   | 979791.500      |
| 35 | 29.3401 | 134 | 13.0898 | 7.0   | 979791.938      |
| 35 | 29.5801 | 134 | 13.1104 | 9.4   | 979791.375      |
| 35 | 29.4399 | 134 | 13.2803 | 6.0   | 979792.125      |
| 35 | 29.5901 | 134 | 13.2500 | 4.9   | 979792.188      |
| 35 | 29.5000 | 134 | 13.4404 | 5.4   | 979792.063      |
| 35 | 29.4199 | 134 | 13.6104 | 5.7   | 979791.750      |
| 35 | 29.3401 | 134 | 13.4902 | 6.0   | 979791.563      |
| 35 | 29.3799 | 134 | 13.3896 | 5.7   | 979791.875      |
| 35 | 29.3000 | 134 | 13.3203 | 7.8   | 979791.438      |
| 35 | 29.1399 | 134 | 13.3896 | 6.9   | 979791.125      |
| 35 | 29.1399 | 134 | 13.5400 | 7.2   | 979790.813      |
| 35 | 29.0000 | 134 | 13.6797 | 6.3   | 979790.563      |
| 35 | 29.0000 | 134 | 13.5498 | 5.9   | 979790.750      |
| 35 | 28.8799 | 134 | 13.5400 | 6.8   | 979790.188      |
| 35 | 28.7900 | 134 | 13.4697 | 6.8   | 979790.000      |
| 35 | 28.9800 | 134 | 13.9102 | 6.1   | 979790.750      |
| 35 | 28.9099 | 134 | 14.0400 | 6.0   | 979790.750      |
| 35 | 28.8799 | 134 | 14.1201 | 6.1   | 979790.625      |
| 35 | 28.9399 | 134 | 14.3096 | 6.6   | 979790.563      |
| 35 | 29.0500 | 134 | 14.1201 | 6.0   | 979790.813      |
| 35 | 29.1101 | 134 | 14.1797 | 6.3   | 979790.875      |
| 35 | 29.2100 | 134 | 14.1299 | 6.0   | 979791.125      |
| 35 | 29.2900 | 134 | 14.0596 | 5.7   | 979791.188      |
| 35 | 29.2000 | 134 | 13.9805 | 6.1   | 979791.125      |
| 35 | 29.1299 | 134 | 14.0098 | 5.9   | 979791.000      |
| 35 | 29.0901 | 134 | 13.8896 | 6.3   | 979790.875      |
| 35 | 29.0701 | 134 | 13.7598 | 6.5   | 979790.750      |

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 29.1699 | 134 | 13.7197 | 6.4   | 979791.000      |
| 35 | 29.2500 | 134 | 13.5996 | 6.2   | 979791.500      |
| 35 | 29.3601 | 134 | 13.7402 | 5.8   | 979791.625      |
| 35 | 29.2900 | 134 | 13.7197 | 5.8   | 979791.438      |
| 35 | 29.1899 | 134 | 13.8604 | 5.9   | 979791.000      |
| 35 | 29.2900 | 134 | 13.9004 | 5.7   | 979791.250      |
| 35 | 29.3701 | 134 | 13.8799 | 6.0   | 979791.375      |
| 35 | 28.5200 | 134 | 14.5996 | 10.3  | 979788.500      |
| 35 | 28.6699 | 134 | 14.5195 | 7.1   | 979789.750      |
| 35 | 28.8101 | 134 | 14.4404 | 6.7   | 979790.313      |
| 35 | 29.0901 | 134 | 14.3203 | 6.7   | 979790.875      |
| 35 | 29.2400 | 134 | 14.2695 | 6.5   | 979791.313      |
| 35 | 28.7500 | 134 | 14.6504 | 7.8   | 979790.063      |
| 35 | 28.9199 | 134 | 14.5703 | 7.7   | 979790.375      |
| 35 | 29.0701 | 134 | 14.4697 | 7.2   | 979791.000      |
| 35 | 29.1699 | 134 | 14.4102 | 6.9   | 979791.000      |
| 35 | 28.7500 | 134 | 14.8496 | 8.6   | 979790.000      |
| 35 | 28.8701 | 134 | 14.8496 | 7.9   | 979790.375      |
| 35 | 28.9800 | 134 | 14.7305 | 8.4   | 979790.875      |
| 35 | 28.9800 | 134 | 14.9902 | 8.5   | 979790.875      |
| 35 | 29.1101 | 134 | 14.6699 | 6.7   | 979791.250      |
| 35 | 29.1499 | 134 | 14.7803 | 6.8   | 979791.500      |
| 35 | 29.2200 | 134 | 14.9297 | 7.6   | 979791.688      |
| 35 | 29.1899 | 134 | 14.5098 | 7.1   | 979791.250      |
| 35 | 29.2300 | 134 | 14.7002 | 6.4   | 979791.750      |
| 35 | 29.3000 | 134 | 14.7900 | 7.7   | 979791.813      |
| 35 | 29.3799 | 134 | 14.8398 | 8.9   | 979791.875      |
| 35 | 29.2600 | 134 | 14.3604 | 6.5   | 979791.500      |
| 35 | 29.2900 | 134 | 14.4297 | 6.9   | 979791.375      |
| 35 | 29.3101 | 134 | 14.5898 | 6.8   | 979791.688      |
| 35 | 29.4299 | 134 | 14.6797 | 7.3   | 979792.125      |
| 35 | 29.3201 | 134 | 14.3203 | 6.3   | 979791.563      |
| 35 | 29.3999 | 134 | 14.4199 | 6.9   | 979791.563      |
| 35 | 29.3899 | 134 | 14.5703 | 6.7   | 979791.875      |
| 35 | 29.4800 | 134 | 14.5703 | 6.3   | 979792.625      |
| 35 | 29.4500 | 134 | 14.4600 | 6.2   | 979792.063      |
| 35 | 29.5701 | 134 | 14.5996 | 7.6   | 979793.000      |
| 35 | 29.3301 | 134 | 14.1904 | 6.0   | 979791.313      |
| 35 | 29.4099 | 134 | 14.2998 | 6.2   | 979791.625      |
| 35 | 29.3701 | 134 | 14.0098 | 5.5   | 979791.313      |
| 35 | 29.3899 | 134 | 14.0801 | 5.6   | 979791.375      |
| 35 | 29.4199 | 134 | 14.1602 | 5.6   | 979791.563      |
| 35 | 29.4600 | 134 | 14.2900 | 6.1   | 979791.875      |
| 35 | 29.4900 | 134 | 14.3496 | 6.2   | 979792.063      |
| 35 | 29.5100 | 134 | 14.4102 | 6.5   | 979792.188      |
| 35 | 29.4800 | 134 | 14.0996 | 5.3   | 979791.750      |
| 35 | 29.5100 | 134 | 14.2100 | 5.8   | 979791.875      |
| 35 | 29.5701 | 134 | 14.4199 | 4.9   | 979792.688      |
| 35 | 29.6399 | 134 | 14.5498 | 5.4   | 979793.125      |
| 35 | 29.7100 | 134 | 14.6904 | 7.3   | 979793.563      |
| 35 | 29.4800 | 134 | 13.9297 | 5.2   | 979791.688      |
| 35 | 29.6001 | 134 | 13.9697 | 5.1   | 979792.000      |
| 35 | 29.5901 | 134 | 14.0996 | 5.6   | 979792.000      |
| 35 | 29.5801 | 134 | 14.2598 | 7.0   | 979791.813      |
| 35 | 29.6399 | 134 | 14.3096 | 4.8   | 979792.563      |
| 35 | 29.6399 | 134 | 14.4004 | 5.4   | 979792.625      |
| 35 | 29.7300 | 134 | 14.5400 | 4.9   | 979793.563      |
| 35 | 29.8101 | 134 | 14.6104 | 5.4   | 979793.938      |
| 35 | 29.4800 | 134 | 13.7998 | 5.6   | 979791.688      |
| 35 | 29.5400 | 134 | 13.9297 | 5.2   | 979791.813      |
| 35 | 29.5000 | 134 | 14.0000 | 5.0   | 979791.813      |
| 35 | 29.6599 | 134 | 14.0703 | 5.7   | 979792.250      |
| 35 | 29.6699 | 134 | 14.1904 | 5.2   | 979792.313      |
| 35 | 29.6899 | 134 | 14.2402 | 5.2   | 979792.500      |
| 35 | 29.7200 | 134 | 14.4102 | 5.0   | 979792.875      |
| 35 | 29.7700 | 134 | 14.3301 | 5.6   | 979792.813      |

付録表2 重力測定データ

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 29.8701 | 134 | 14.5195 | 5.2   | 979793.750      |
| 35 | 29.7300 | 134 | 14.1396 | 4.8   | 979792.625      |
| 35 | 29.8301 | 134 | 14.2695 | 5.4   | 979792.813      |
| 35 | 29.8501 | 134 | 14.4102 | 5.2   | 979793.438      |
| 35 | 29.9900 | 134 | 14.5498 | 5.3   | 979794.000      |
| 35 | 30.0300 | 134 | 14.6504 | 6.7   | 979793.750      |
| 35 | 30.0000 | 134 | 14.3701 | 4.8   | 979793.500      |
| 35 | 29.5701 | 134 | 13.6797 | 5.6   | 979791.750      |
| 35 | 29.6499 | 134 | 13.8203 | 5.3   | 979792.063      |
| 35 | 29.7000 | 134 | 13.8799 | 5.0   | 979792.125      |
| 35 | 29.7500 | 134 | 13.9502 | 5.0   | 979792.313      |
| 35 | 29.8301 | 134 | 14.0303 | 4.6   | 979792.625      |
| 35 | 29.8999 | 134 | 14.0996 | 4.5   | 979792.875      |
| 35 | 30.0300 | 134 | 14.2598 | 4.3   | 979793.500      |
| 35 | 30.0701 | 134 | 14.4502 | 5.1   | 979793.750      |
| 35 | 30.1499 | 134 | 14.5703 | 9.8   | 979793.313      |
| 35 | 29.6299 | 134 | 13.4697 | 4.5   | 979792.313      |
| 35 | 29.6699 | 134 | 13.5801 | 5.0   | 979792.250      |
| 35 | 29.7100 | 134 | 13.6797 | 4.8   | 979792.188      |
| 35 | 29.7600 | 134 | 13.8203 | 5.4   | 979792.125      |
| 35 | 29.8501 | 134 | 13.9199 | 5.1   | 979792.375      |
| 35 | 29.9099 | 134 | 14.0000 | 4.9   | 979792.625      |
| 35 | 29.9800 | 134 | 14.0801 | 4.1   | 979793.000      |
| 35 | 29.8201 | 134 | 13.6396 | 3.7   | 979792.688      |
| 35 | 29.8999 | 134 | 13.7598 | 5.3   | 979792.438      |
| 35 | 29.8999 | 134 | 13.8701 | 5.1   | 979792.438      |
| 35 | 30.0100 | 134 | 13.8799 | 4.7   | 979792.750      |
| 35 | 30.0601 | 134 | 14.0703 | 3.5   | 979793.250      |
| 35 | 30.1201 | 134 | 14.1699 | 4.1   | 979793.500      |
| 35 | 30.3101 | 134 | 14.2598 | 4.4   | 979794.438      |
| 35 | 30.2900 | 134 | 14.4004 | 8.5   | 979793.688      |
| 35 | 29.7800 | 134 | 13.4600 | 4.6   | 979792.563      |
| 35 | 29.9299 | 134 | 13.5195 | 4.6   | 979792.938      |
| 35 | 29.9500 | 134 | 13.6299 | 4.6   | 979792.813      |
| 35 | 30.0200 | 134 | 13.6602 | 4.4   | 979792.938      |
| 35 | 30.1499 | 134 | 13.7900 | 5.0   | 979792.938      |
| 35 | 30.1599 | 134 | 13.9805 | 3.9   | 979793.250      |
| 35 | 30.2500 | 134 | 14.1104 | 4.1   | 979793.625      |
| 35 | 29.7500 | 134 | 13.2900 | 7.3   | 979791.750      |
| 35 | 29.8799 | 134 | 13.3096 | 4.8   | 979792.688      |
| 35 | 29.9600 | 134 | 13.4297 | 4.3   | 979793.063      |
| 35 | 30.0601 | 134 | 13.5400 | 4.2   | 979793.188      |
| 35 | 30.1299 | 134 | 13.6299 | 4.5   | 979793.125      |
| 35 | 30.2800 | 134 | 13.9199 | 4.1   | 979793.563      |
| 35 | 30.3000 | 134 | 14.0596 | 4.4   | 979793.750      |
| 35 | 30.3799 | 134 | 14.2100 | 4.0   | 979794.750      |
| 35 | 29.9500 | 134 | 13.2402 | 4.5   | 979793.000      |
| 35 | 30.0500 | 134 | 13.2598 | 4.6   | 979793.125      |
| 35 | 30.0601 | 134 | 13.4004 | 3.6   | 979793.375      |
| 35 | 30.1699 | 134 | 13.5195 | 4.8   | 979793.375      |
| 35 | 30.2500 | 134 | 13.6797 | 4.1   | 979793.500      |
| 35 | 30.3999 | 134 | 13.9199 | 4.1   | 979794.125      |
| 35 | 30.4299 | 134 | 14.0400 | 3.4   | 979794.625      |
| 35 | 30.4900 | 134 | 14.1699 | 4.4   | 979795.250      |
| 35 | 30.1599 | 134 | 13.1904 | 4.3   | 979793.313      |
| 35 | 30.2200 | 134 | 13.3799 | 3.8   | 979793.563      |
| 35 | 30.3301 | 134 | 13.5098 | 4.1   | 979793.750      |
| 35 | 30.4099 | 134 | 13.6396 | 3.8   | 979793.688      |
| 35 | 30.3999 | 134 | 13.7695 | 2.9   | 979794.063      |
| 35 | 30.5000 | 134 | 13.9199 | 4.8   | 979794.188      |
| 35 | 30.5100 | 134 | 14.0498 | 2.8   | 979795.063      |
| 35 | 30.6001 | 134 | 14.0596 | 4.6   | 979795.438      |
| 35 | 30.3501 | 134 | 13.3301 | 3.9   | 979793.625      |
| 35 | 30.4500 | 134 | 13.4600 | 3.7   | 979793.938      |
| 35 | 30.5100 | 134 | 13.6396 | 3.2   | 979794.188      |
| 35 | 30.5300 | 134 | 13.7998 | 3.3   | 979794.438      |

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 30.6101 | 134 | 13.7100 | 3.1   | 979794.813      |
| 35 | 30.6299 | 134 | 13.8604 | 2.5   | 979795.250      |
| 35 | 30.3301 | 134 | 13.1504 | 4.7   | 979793.563      |
| 35 | 30.4399 | 134 | 13.2900 | 4.7   | 979793.625      |
| 35 | 30.5701 | 134 | 13.5303 | 3.2   | 979794.250      |
| 35 | 30.6599 | 134 | 13.5801 | 3.0   | 979794.875      |
| 35 | 30.7700 | 134 | 13.6602 | 3.2   | 979796.000      |
| 35 | 30.4800 | 134 | 13.0703 | 4.1   | 979794.063      |
| 35 | 30.6101 | 134 | 13.1904 | 3.5   | 979794.500      |
| 35 | 30.5701 | 134 | 13.3896 | 3.1   | 979794.250      |
| 35 | 30.6899 | 134 | 13.2900 | 3.2   | 979795.000      |
| 35 | 30.7500 | 134 | 13.4102 | 2.8   | 979795.438      |
| 35 | 30.8701 | 134 | 13.5303 | 4.5   | 979796.375      |
| 35 | 30.9399 | 134 | 13.5996 | 5.0   | 979797.438      |
| 35 | 28.7500 | 134 | 7.9297  | 21.4  | 979788.438      |
| 35 | 28.9800 | 134 | 7.4902  | 9.7   | 979790.750      |
| 35 | 29.0100 | 134 | 7.4297  | 9.2   | 979790.813      |
| 35 | 29.0601 | 134 | 7.3701  | 8.3   | 979790.688      |
| 35 | 29.0801 | 134 | 7.3398  | 8.2   | 979790.813      |
| 35 | 29.0200 | 134 | 7.2803  | 8.4   | 979790.625      |
| 35 | 28.9600 | 134 | 7.2402  | 10.4  | 979790.250      |
| 35 | 29.1101 | 134 | 7.4297  | 6.7   | 979790.750      |
| 35 | 29.1499 | 134 | 7.3799  | 5.8   | 979790.875      |
| 35 | 29.1599 | 134 | 7.4697  | 5.9   | 979790.625      |
| 35 | 29.1899 | 134 | 7.5098  | 5.1   | 979790.875      |
| 35 | 29.2200 | 134 | 7.4902  | 5.2   | 979791.000      |
| 35 | 29.2200 | 134 | 7.4502  | 5.5   | 979790.938      |
| 35 | 29.2500 | 134 | 7.5400  | 4.8   | 979791.000      |
| 35 | 29.2700 | 134 | 7.5703  | 4.5   | 979791.063      |
| 35 | 29.0500 | 134 | 7.4600  | 7.1   | 979790.750      |
| 35 | 29.1101 | 134 | 7.5098  | 6.7   | 979790.438      |
| 35 | 29.1799 | 134 | 7.5596  | 5.6   | 979790.750      |
| 35 | 29.2400 | 134 | 7.5996  | 4.7   | 979791.000      |
| 35 | 29.0100 | 134 | 7.5303  | 7.4   | 979790.688      |
| 35 | 29.0701 | 134 | 7.5801  | 6.4   | 979790.438      |
| 35 | 29.1399 | 134 | 7.6299  | 5.8   | 979790.563      |
| 35 | 29.2100 | 134 | 7.6904  | 4.8   | 979790.938      |
| 35 | 28.9099 | 134 | 7.6104  | 10.6  | 979790.438      |
| 35 | 28.9500 | 134 | 7.6602  | 8.1   | 979790.500      |
| 35 | 29.0000 | 134 | 7.6904  | 6.9   | 979790.500      |
| 35 | 29.0500 | 134 | 7.7197  | 6.5   | 979790.313      |
| 35 | 29.6001 | 134 | 8.1396  | 1.5   | 979794.563      |
| 35 | 29.5601 | 134 | 8.2100  | 1.2   | 979794.438      |
| 35 | 29.5801 | 134 | 8.2803  | 1.9   | 979794.563      |
| 35 | 29.5601 | 134 | 8.3799  | 1.5   | 979794.813      |
| 35 | 29.5300 | 134 | 8.4600  | 2.0   | 979795.250      |
| 35 | 29.5500 | 134 | 8.6201  | 2.2   | 979796.188      |
| 35 | 29.4900 | 134 | 8.4004  | 1.5   | 979794.500      |
| 35 | 29.4700 | 134 | 8.3203  | 1.6   | 979794.125      |
| 35 | 29.5000 | 134 | 8.2402  | 2.0   | 979794.000      |
| 35 | 29.5200 | 134 | 8.1797  | 1.4   | 979794.250      |
| 35 | 29.4399 | 134 | 8.1201  | 1.6   | 979793.688      |
| 35 | 29.4199 | 134 | 8.1904  | 2.3   | 979793.625      |
| 35 | 29.3799 | 134 | 8.1699  | 2.7   | 979793.063      |
| 35 | 29.3999 | 134 | 8.0898  | 2.0   | 979793.250      |
| 35 | 29.3899 | 134 | 8.2695  | 4.9   | 979792.875      |
| 35 | 29.3501 | 134 | 8.3701  | 6.3   | 979792.563      |
| 35 | 29.3301 | 134 | 8.2900  | 10.9  | 979791.500      |
| 35 | 29.3000 | 134 | 8.2002  | 3.5   | 979792.750      |
| 35 | 29.3201 | 134 | 8.1299  | 3.3   | 979792.750      |
| 35 | 29.3501 | 134 | 8.0596  | 2.3   | 979792.938      |
| 35 | 29.2500 | 134 | 8.1602  | 5.2   | 979791.875      |
| 35 | 29.2700 | 134 | 8.1104  | 4.1   | 979792.313      |
| 35 | 29.3000 | 134 | 8.0303  | 3.0   | 979792.563      |
| 35 | 29.3201 | 134 | 7.9697  | 3.0   | 979792.500      |
| 35 | 29.3601 | 134 | 8.0000  | 2.5   | 979791.813      |

付録表2 重力測定データ

| 緯度 |         | 経度  |        | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|--------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '      |       |                 |
| 35 | 29.2000 | 134 | 8.0801 | 5.0   | 979791.813      |
| 35 | 29.2300 | 134 | 8.0000 | 3.8   | 979792.125      |
| 35 | 29.1101 | 134 | 8.2500 | 12.0  | 979790.375      |
| 35 | 29.1699 | 134 | 8.1504 | 7.0   | 979791.375      |
| 35 | 29.1201 | 134 | 8.1504 | 7.5   | 979791.125      |
| 35 | 29.1399 | 134 | 8.0498 | 5.8   | 979791.375      |
| 35 | 29.1699 | 134 | 7.9600 | 4.6   | 979791.688      |
| 35 | 29.2000 | 134 | 7.9199 | 5.9   | 979791.250      |
| 35 | 29.0601 | 134 | 8.1201 | 8.4   | 979790.625      |
| 35 | 29.0801 | 134 | 8.0303 | 6.8   | 979790.938      |
| 35 | 29.0000 | 134 | 8.0098 | 9.3   | 979790.313      |
| 35 | 29.1001 | 134 | 7.7402 | 5.7   | 979790.563      |
| 35 | 29.1799 | 134 | 7.7803 | 5.0   | 979790.750      |
| 35 | 29.2400 | 134 | 7.8203 | 4.4   | 979791.313      |
| 35 | 29.2900 | 134 | 7.8799 | 4.8   | 979791.688      |
| 35 | 29.3401 | 134 | 7.8799 | 3.7   | 979792.125      |
| 35 | 29.3501 | 134 | 7.9199 | 3.4   | 979792.250      |
| 35 | 29.3999 | 134 | 7.9600 | 3.0   | 979792.750      |
| 35 | 29.4600 | 134 | 8.0000 | 2.7   | 979793.063      |
| 35 | 29.5200 | 134 | 8.0498 | 2.1   | 979793.813      |
| 35 | 29.5901 | 134 | 8.0898 | 2.1   | 979794.250      |
| 35 | 29.5801 | 134 | 7.9805 | 3.4   | 979793.563      |
| 35 | 29.5300 | 134 | 7.9502 | 2.1   | 979793.375      |
| 35 | 29.4500 | 134 | 7.8896 | 3.0   | 979792.750      |
| 35 | 29.4099 | 134 | 7.8604 | 4.1   | 979792.313      |
| 35 | 29.3501 | 134 | 7.8203 | 5.2   | 979791.688      |
| 35 | 29.2600 | 134 | 7.7197 | 4.3   | 979791.375      |
| 35 | 29.3000 | 134 | 7.7500 | 3.9   | 979791.750      |
| 35 | 29.3601 | 134 | 7.7900 | 3.4   | 979792.125      |
| 35 | 29.3999 | 134 | 7.8301 | 3.2   | 979792.625      |
| 35 | 29.4600 | 134 | 7.8604 | 2.8   | 979792.813      |
| 35 | 29.4900 | 134 | 7.8799 | 2.4   | 979793.125      |
| 35 | 29.5300 | 134 | 7.9102 | 2.4   | 979793.313      |
| 35 | 29.5801 | 134 | 7.9297 | 2.3   | 979793.688      |
| 35 | 29.5601 | 134 | 7.8496 | 2.5   | 979793.375      |
| 35 | 29.5200 | 134 | 7.8203 | 2.8   | 979793.063      |
| 35 | 29.4900 | 134 | 7.7900 | 3.0   | 979792.875      |
| 35 | 29.4500 | 134 | 7.7598 | 3.2   | 979792.625      |
| 35 | 29.3899 | 134 | 7.7305 | 3.6   | 979792.188      |
| 35 | 29.3501 | 134 | 7.6797 | 4.0   | 979791.688      |
| 35 | 29.3000 | 134 | 7.6504 | 4.3   | 979791.375      |
| 35 | 29.4099 | 134 | 7.6797 | 3.6   | 979792.250      |
| 35 | 29.4299 | 134 | 7.6396 | 5.2   | 979791.938      |
| 35 | 29.4900 | 134 | 7.6602 | 3.5   | 979792.750      |
| 35 | 29.5400 | 134 | 7.6904 | 3.9   | 979792.938      |
| 35 | 29.5100 | 134 | 7.7598 | 3.1   | 979792.875      |
| 35 | 29.5701 | 134 | 7.7695 | 3.0   | 979793.188      |
| 35 | 29.5701 | 134 | 7.7100 | 6.1   | 979792.563      |
| 35 | 28.9099 | 134 | 7.4199 | 10.4  | 979790.563      |
| 35 | 28.8401 | 134 | 7.3604 | 12.5  | 979789.875      |
| 35 | 28.8101 | 134 | 7.3896 | 14.3  | 979789.625      |
| 35 | 28.8601 | 134 | 7.4805 | 12.1  | 979790.188      |
| 35 | 28.9299 | 134 | 7.5703 | 11.0  | 979790.438      |
| 35 | 28.8799 | 134 | 7.6504 | 11.3  | 979790.313      |
| 35 | 28.7300 | 134 | 7.5000 | 17.2  | 979789.000      |
| 35 | 28.6201 | 134 | 7.4102 | 26.2  | 979786.688      |
| 35 | 28.6499 | 134 | 7.3604 | 17.3  | 979788.438      |
| 35 | 28.5801 | 134 | 7.2998 | 19.8  | 979787.500      |
| 35 | 28.7100 | 134 | 7.3203 | 15.0  | 979789.250      |
| 35 | 28.7700 | 134 | 7.4502 | 13.3  | 979789.750      |
| 35 | 28.8101 | 134 | 7.5596 | 13.8  | 979789.813      |
| 35 | 28.5701 | 134 | 7.4805 | 32.4  | 979785.250      |
| 35 | 28.5300 | 134 | 7.5303 | 32.7  | 979785.250      |
| 35 | 28.4700 | 134 | 7.4697 | 35.1  | 979784.438      |
| 35 | 28.7300 | 134 | 7.7402 | 21.3  | 979788.625      |
| 35 | 28.7500 | 134 | 7.7803 | 18.6  | 979789.438      |

| 緯度 |         | 経度  |        | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|--------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '      |       |                 |
| 35 | 28.7500 | 134 | 7.7500 | 21.6  | 979788.563      |
| 35 | 28.7700 | 134 | 7.8301 | 17.0  | 979789.875      |
| 35 | 28.7500 | 134 | 7.8701 | 18.3  | 979789.313      |
| 35 | 28.7900 | 134 | 7.8604 | 16.2  | 979790.125      |
| 35 | 28.8101 | 134 | 7.8701 | 15.6  | 979790.313      |
| 35 | 28.8201 | 134 | 7.8398 | 16.6  | 979790.000      |
| 35 | 28.7700 | 134 | 7.8896 | 15.5  | 979789.688      |
| 35 | 28.7500 | 134 | 7.9199 | 20.0  | 979789.000      |
| 35 | 28.7400 | 134 | 7.9004 | 21.9  | 979788.438      |
| 35 | 28.7200 | 134 | 7.8701 | 22.9  | 979788.125      |
| 35 | 28.7200 | 134 | 7.8203 | 21.5  | 979788.500      |
| 35 | 28.7000 | 134 | 7.8799 | 29.0  | 979786.750      |
| 35 | 28.8000 | 134 | 7.9102 | 16.3  | 979789.938      |
| 35 | 28.8401 | 134 | 7.8896 | 14.4  | 979790.438      |
| 35 | 28.8701 | 134 | 7.9102 | 13.3  | 979790.563      |
| 35 | 28.8501 | 134 | 7.9404 | 14.0  | 979790.375      |
| 35 | 28.8201 | 134 | 7.9199 | 14.9  | 979790.250      |
| 35 | 28.8899 | 134 | 7.9297 | 12.1  | 979790.313      |
| 35 | 28.9299 | 134 | 7.9404 | 11.4  | 979790.250      |
| 35 | 28.9500 | 134 | 7.9600 | 10.7  | 979790.188      |
| 35 | 28.9900 | 134 | 7.9805 | 9.5   | 979790.250      |
| 35 | 28.9099 | 134 | 8.0000 | 12.4  | 979790.063      |
| 35 | 28.8601 | 134 | 7.9805 | 13.9  | 979790.063      |
| 35 | 28.8201 | 134 | 7.9697 | 15.4  | 979790.000      |
| 35 | 28.7900 | 134 | 7.9502 | 17.3  | 979789.563      |
| 35 | 28.7400 | 134 | 7.9600 | 25.7  | 979787.750      |
| 35 | 28.8799 | 134 | 8.0498 | 12.7  | 979789.500      |
| 35 | 28.9700 | 134 | 8.0898 | 12.7  | 979789.813      |
| 35 | 29.0100 | 134 | 7.8799 | 11.1  | 979789.750      |
| 35 | 28.9600 | 134 | 7.8398 | 14.9  | 979789.000      |
| 35 | 28.8799 | 134 | 7.8096 | 17.0  | 979789.125      |
| 35 | 28.8501 | 134 | 7.7305 | 17.1  | 979789.438      |
| 35 | 28.6699 | 134 | 7.6904 | 24.3  | 979787.625      |
| 35 | 28.6299 | 134 | 7.6396 | 27.0  | 979786.875      |
| 35 | 28.3101 | 134 | 7.2002 | 44.5  | 979780.438      |
| 35 | 28.5701 | 134 | 7.5898 | 29.5  | 979786.000      |
| 35 | 28.4199 | 134 | 7.3701 | 37.6  | 979783.625      |
| 35 | 28.3799 | 134 | 7.2998 | 41.8  | 979782.063      |
| 35 | 28.3201 | 134 | 7.3301 | 45.5  | 979780.875      |
| 35 | 28.6899 | 134 | 7.8398 | 23.9  | 979787.688      |
| 35 | 28.6599 | 134 | 7.7803 | 25.5  | 979787.313      |
| 35 | 28.6299 | 134 | 7.7402 | 28.4  | 979786.625      |
| 35 | 28.5901 | 134 | 7.7002 | 30.1  | 979786.063      |
| 35 | 28.4900 | 134 | 7.5898 | 32.6  | 979785.188      |
| 35 | 28.3799 | 134 | 7.3496 | 38.3  | 979783.313      |
| 35 | 28.6699 | 134 | 7.5898 | 25.5  | 979787.375      |
| 35 | 28.7100 | 134 | 7.6299 | 23.8  | 979787.813      |
| 35 | 28.8301 | 134 | 7.7900 | 18.5  | 979789.438      |
| 35 | 28.8501 | 134 | 7.5400 | 11.0  | 979790.500      |
| 35 | 28.6699 | 134 | 7.4502 | 21.5  | 979787.875      |
| 35 | 28.7000 | 134 | 7.4004 | 15.2  | 979789.188      |
| 35 | 28.6499 | 134 | 7.2803 | 16.1  | 979788.813      |
| 35 | 29.8000 | 134 | 7.9600 | 1.5   | 979795.188      |
| 35 | 29.7300 | 134 | 8.0098 | 0.9   | 979795.188      |
| 35 | 29.6799 | 134 | 7.9600 | 1.3   | 979794.563      |
| 35 | 29.7300 | 134 | 7.9004 | 1.0   | 979794.750      |
| 35 | 29.6399 | 134 | 8.0195 | 1.5   | 979794.313      |
| 35 | 29.6899 | 134 | 8.0703 | 1.2   | 979795.000      |
| 35 | 29.6699 | 134 | 8.1104 | 3.1   | 979794.313      |
| 35 | 29.1499 | 134 | 7.9199 | 6.2   | 979790.938      |
| 35 | 29.1399 | 134 | 7.9502 | 5.7   | 979791.250      |
| 35 | 29.1001 | 134 | 7.9199 | 7.0   | 979790.750      |
| 35 | 29.0500 | 134 | 7.9004 | 8.9   | 979790.250      |
| 35 | 29.0000 | 134 | 7.9297 | 10.4  | 979790.063      |
| 35 | 29.0500 | 134 | 7.9902 | 7.5   | 979790.813      |
| 35 | 29.0901 | 134 | 8.0000 | 6.2   | 979791.125      |



付録表2 重力測定データ

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 28.8701 | 134 | 7.8799  | 14.3  | 979790.188      |
| 35 | 28.8401 | 134 | 7.8701  | 14.4  | 979790.375      |
| 35 | 28.9199 | 134 | 7.8301  | 16.2  | 979789.000      |
| 35 | 28.8501 | 134 | 7.7998  | 18.7  | 979789.250      |
| 35 | 28.1899 | 134 | 7.2803  | 50.3  | 979779.438      |
| 35 | 29.6101 | 134 | 8.2900  | 2.7   | 979795.000      |
| 35 | 28.7500 | 134 | 7.9297  | 21.4  | 979788.625      |
| 35 | 29.7200 | 134 | 8.2002  | 0.5   | 979795.313      |
| 35 | 29.5288 | 134 | 11.7568 | 8.1   | 979795.035      |
| 35 | 29.4336 | 134 | 11.6514 | 9.2   | 979794.518      |
| 35 | 29.3342 | 134 | 11.5322 | 8.9   | 979794.267      |
| 35 | 29.1917 | 134 | 11.3857 | 10.7  | 979793.697      |
| 35 | 29.0813 | 134 | 11.2627 | 13.5  | 979793.066      |
| 35 | 28.4851 | 134 | 10.1855 | 27.4  | 979789.729      |
| 35 | 28.4055 | 134 | 10.0615 | 31.5  | 979789.318      |
| 35 | 28.3232 | 134 | 9.9414  | 32.7  | 979788.852      |
| 35 | 28.2434 | 134 | 9.7998  | 36.1  | 979787.987      |
| 35 | 28.2185 | 134 | 9.6768  | 38.0  | 979787.324      |
| 35 | 28.3601 | 134 | 7.3037  | 42.9  | 979781.984      |
| 35 | 28.2961 | 134 | 7.3291  | 46.3  | 979780.723      |
| 35 | 28.2517 | 134 | 7.3096  | 48.9  | 979780.203      |
| 35 | 28.1848 | 134 | 7.2832  | 52.8  | 979779.338      |
| 35 | 28.1418 | 134 | 7.2891  | 57.3  | 979778.168      |
| 35 | 28.0813 | 134 | 7.2734  | 63.3  | 979776.405      |
| 35 | 28.0261 | 134 | 7.2529  | 63.6  | 979776.079      |
| 35 | 27.9590 | 134 | 7.2041  | 65.8  | 979775.539      |
| 35 | 27.9021 | 134 | 7.1963  | 68.7  | 979774.486      |
| 35 | 27.8496 | 134 | 7.1885  | 72.8  | 979773.516      |
| 35 | 27.6975 | 134 | 7.0752  | 77.6  | 979771.410      |
| 35 | 27.6150 | 134 | 7.0000  | 81.5  | 979770.391      |
| 35 | 27.5481 | 134 | 6.8545  | 87.5  | 979768.482      |
| 35 | 27.4338 | 134 | 6.7559  | 96.2  | 979766.806      |
| 35 | 27.3425 | 134 | 6.6035  | 101.0 | 979764.014      |
| 35 | 27.2175 | 134 | 6.4434  | 114.8 | 979760.899      |
| 35 | 27.1960 | 134 | 6.3770  | 115.0 | 979760.613      |
| 35 | 27.1289 | 134 | 6.3135  | 116.6 | 979760.031      |
| 35 | 27.0833 | 134 | 6.2627  | 119.7 | 979759.043      |
| 35 | 27.0237 | 134 | 6.2334  | 121.9 | 979758.300      |
| 35 | 26.9907 | 134 | 6.1729  | 123.0 | 979757.861      |
| 35 | 26.9331 | 134 | 6.1357  | 125.6 | 979756.908      |
| 35 | 26.8806 | 134 | 6.1240  | 130.8 | 979755.495      |
| 35 | 26.8286 | 134 | 6.0732  | 139.7 | 979753.379      |
| 35 | 26.7612 | 134 | 6.0410  | 142.7 | 979751.853      |
| 35 | 26.7083 | 134 | 5.9980  | 147.1 | 979751.515      |
| 35 | 26.6599 | 134 | 5.9453  | 153.4 | 979749.775      |
| 35 | 26.5449 | 134 | 5.8428  | 161.2 | 979747.453      |
| 35 | 26.4353 | 134 | 5.7295  | 173.6 | 979744.507      |
| 35 | 26.3567 | 134 | 5.5820  | 185.4 | 979741.817      |
| 35 | 28.9883 | 134 | 8.0166  | 11.2  | 979790.256      |
| 35 | 28.8452 | 134 | 8.2910  | 38.4  | 979785.373      |
| 35 | 28.7373 | 134 | 10.5527 | 23.0  | 979789.841      |
| 35 | 28.6826 | 134 | 10.4492 | 24.1  | 979789.605      |
| 35 | 28.6379 | 134 | 10.3750 | 25.3  | 979789.620      |
| 35 | 28.5505 | 134 | 10.2793 | 25.8  | 979789.395      |
| 35 | 28.5935 | 134 | 10.3242 | 25.6  | 979789.698      |
| 35 | 28.6604 | 134 | 10.4180 | 25.0  | 979789.316      |
| 35 | 28.7036 | 134 | 10.4756 | 23.8  | 979789.983      |
| 35 | 28.7771 | 134 | 10.6895 | 20.9  | 979790.301      |
| 35 | 28.7942 | 134 | 10.7451 | 17.7  | 979790.406      |
| 35 | 29.0398 | 134 | 11.1611 | 13.9  | 979792.121      |
| 35 | 28.9929 | 134 | 11.0586 | 13.4  | 979792.391      |
| 35 | 29.0212 | 134 | 11.0908 | 11.9  | 979792.708      |
| 35 | 28.8076 | 134 | 10.7793 | 18.8  | 979790.541      |
| 35 | 28.8281 | 134 | 10.8291 | 18.9  | 979790.830      |
| 35 | 28.5234 | 134 | 10.2314 | 26.4  | 979789.115      |
| 35 | 28.4497 | 134 | 10.1260 | 29.7  | 979788.834      |

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 28.3730 | 134 | 10.0137 | 30.7  | 979788.364      |
| 35 | 28.2805 | 134 | 9.8779  | 33.7  | 979787.643      |
| 35 | 28.2500 | 134 | 9.8418  | 34.9  | 979787.490      |
| 35 | 28.2346 | 134 | 9.7822  | 36.1  | 979787.275      |
| 35 | 28.2185 | 134 | 9.7012  | 37.6  | 979787.008      |
| 35 | 28.2021 | 134 | 9.6289  | 37.2  | 979786.765      |
| 35 | 28.1943 | 134 | 9.5664  | 39.8  | 979786.528      |
| 35 | 28.1255 | 134 | 9.4395  | 41.3  | 979785.757      |
| 35 | 28.0261 | 134 | 9.3623  | 46.9  | 979784.911      |
| 35 | 27.9785 | 134 | 9.2891  | 51.5  | 979782.749      |
| 35 | 27.8093 | 134 | 9.4736  | 54.8  | 979780.898      |
| 35 | 28.0283 | 134 | 9.5566  | 40.5  | 979785.341      |
| 35 | 28.0803 | 134 | 9.3818  | 43.3  | 979785.105      |
| 35 | 28.1677 | 134 | 9.4795  | 40.8  | 979786.025      |
| 35 | 28.7937 | 134 | 10.5566 | 21.9  | 979790.492      |
| 35 | 28.8623 | 134 | 10.6621 | 17.6  | 979791.380      |
| 35 | 28.9055 | 134 | 10.7275 | 15.9  | 979791.518      |
| 35 | 29.0859 | 134 | 11.1973 | 11.7  | 979792.881      |
| 35 | 28.9780 | 134 | 11.0342 | 14.9  | 979791.733      |
| 35 | 28.9211 | 134 | 10.9102 | 14.8  | 979791.714      |
| 35 | 28.8972 | 134 | 10.8545 | 16.0  | 979791.671      |
| 35 | 28.8745 | 134 | 10.7764 | 16.9  | 979791.354      |
| 35 | 29.4001 | 134 | 9.7031  | 8.0   | 979795.479      |
| 35 | 29.1440 | 134 | 9.5586  | 11.8  | 979795.408      |
| 35 | 28.8955 | 134 | 9.3467  | 20.4  | 979793.390      |
| 35 | 28.8191 | 134 | 9.2871  | 24.1  | 979792.198      |
| 35 | 28.8015 | 134 | 8.8955  | 44.6  | 979786.228      |
| 35 | 28.0847 | 134 | 9.0742  | 55.9  | 979781.515      |
| 35 | 27.8401 | 134 | 8.9160  | 64.2  | 979779.947      |
| 35 | 27.6140 | 134 | 8.7324  | 70.6  | 979777.998      |
| 35 | 27.5576 | 134 | 8.6182  | 73.6  | 979775.587      |
| 35 | 27.5049 | 134 | 8.2588  | 85.7  | 979772.038      |
| 35 | 27.5486 | 134 | 7.9014  | 110.9 | 979766.343      |
| 35 | 27.3701 | 134 | 7.6348  | 123.4 | 979761.826      |
| 35 | 27.1279 | 134 | 7.3848  | 143.4 | 979755.718      |
| 35 | 26.9348 | 134 | 7.1191  | 166.7 | 979750.453      |
| 35 | 26.8066 | 134 | 6.8779  | 184.0 | 979746.338      |
| 35 | 28.6958 | 134 | 10.8184 | 19.3  | 979790.536      |
| 35 | 28.6748 | 134 | 11.2705 | 23.2  | 979788.834      |
| 35 | 28.6218 | 134 | 11.5430 | 12.4  | 979790.640      |
| 35 | 27.3374 | 134 | 10.0830 | 76.1  | 979775.448      |
| 35 | 27.5405 | 134 | 9.9004  | 107.9 | 979769.635      |
| 35 | 27.6660 | 134 | 9.5869  | 71.4  | 979777.036      |
| 35 | 27.6736 | 134 | 9.2139  | 62.0  | 979778.987      |
| 35 | 27.6213 | 134 | 4.4902  | 55.5  | 979773.178      |
| 35 | 27.5769 | 134 | 4.5088  | 55.4  | 979773.070      |
| 35 | 27.5151 | 134 | 4.5303  | 57.5  | 979772.608      |
| 35 | 27.4543 | 134 | 4.5303  | 60.5  | 979771.649      |
| 35 | 27.3938 | 134 | 4.5313  | 63.1  | 979770.957      |
| 35 | 27.3435 | 134 | 4.5313  | 64.1  | 979770.057      |
| 35 | 27.2900 | 134 | 4.5322  | 68.8  | 979769.247      |
| 35 | 27.2417 | 134 | 4.5322  | 71.7  | 979768.451      |
| 35 | 27.1892 | 134 | 4.5332  | 75.0  | 979767.469      |
| 35 | 27.1187 | 134 | 4.5488  | 78.3  | 979766.432      |
| 35 | 27.0764 | 134 | 4.5537  | 80.9  | 979765.794      |
| 35 | 26.9695 | 134 | 4.6016  | 87.5  | 979763.887      |
| 35 | 26.9277 | 134 | 4.6436  | 90.3  | 979763.211      |
| 35 | 26.8735 | 134 | 4.6738  | 94.2  | 979761.998      |
| 35 | 26.8110 | 134 | 4.6875  | 96.7  | 979760.630      |
| 35 | 26.6570 | 134 | 4.6631  | 109.5 | 979757.675      |
| 35 | 26.6008 | 134 | 4.6377  | 113.8 | 979757.399      |
| 35 | 26.5442 | 134 | 4.6289  | 119.2 | 979754.706      |
| 35 | 26.4792 | 134 | 4.6387  | 122.1 | 979753.849      |
| 35 | 26.4270 | 134 | 4.5928  | 126.6 | 979752.907      |
| 35 | 26.3906 | 134 | 4.5811  | 130.0 | 979752.167      |
| 35 | 26.3481 | 134 | 4.5713  | 133.3 | 979750.942      |

付録表2 重力測定データ

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 26.2998 | 134 | 4.5615  | 139.0 | 979749.854      |
| 35 | 26.2368 | 134 | 4.5557  | 146.4 | 979748.677      |
| 35 | 27.5127 | 134 | 4.1982  | 53.3  | 979773.287      |
| 35 | 27.4597 | 134 | 4.2051  | 53.1  | 979772.506      |
| 35 | 27.4133 | 134 | 4.2119  | 57.5  | 979771.739      |
| 35 | 27.3625 | 134 | 4.2314  | 57.1  | 979771.344      |
| 35 | 27.3054 | 134 | 4.2451  | 64.0  | 979770.619      |
| 35 | 27.2517 | 134 | 4.2305  | 65.8  | 979769.571      |
| 35 | 27.1982 | 134 | 4.2070  | 68.7  | 979768.831      |
| 35 | 27.1357 | 134 | 4.1768  | 72.9  | 979767.336      |
| 35 | 27.0874 | 134 | 4.1455  | 76.4  | 979766.346      |
| 35 | 27.0376 | 134 | 4.1045  | 80.5  | 979765.323      |
| 35 | 26.9880 | 134 | 4.0859  | 84.7  | 979764.384      |
| 35 | 26.9448 | 134 | 4.0430  | 89.2  | 979763.062      |
| 35 | 26.9048 | 134 | 3.9990  | 92.7  | 979762.049      |
| 35 | 26.8745 | 134 | 3.9482  | 96.9  | 979761.301      |
| 35 | 26.8545 | 134 | 3.8818  | 99.6  | 979760.362      |
| 35 | 26.8059 | 134 | 3.8633  | 106.2 | 979759.075      |
| 35 | 26.7512 | 134 | 3.8975  | 111.1 | 979757.711      |
| 35 | 26.6970 | 134 | 3.8740  | 117.5 | 979756.212      |
| 35 | 26.6311 | 134 | 3.8604  | 126.4 | 979754.153      |
| 35 | 26.5801 | 134 | 3.8389  | 134.8 | 979752.278      |
| 35 | 26.5444 | 134 | 3.7725  | 143.3 | 979750.423      |
| 35 | 26.5125 | 134 | 3.7002  | 156.5 | 979747.832      |
| 35 | 26.4231 | 134 | 3.7617  | 159.8 | 979747.257      |
| 35 | 26.3662 | 134 | 3.7480  | 166.8 | 979744.632      |
| 35 | 26.3188 | 134 | 3.7236  | 177.8 | 979742.049      |
| 35 | 26.2700 | 134 | 3.7061  | 187.8 | 979739.965      |
| 35 | 26.2190 | 134 | 3.7119  | 197.0 | 979737.928      |
| 35 | 26.1599 | 134 | 3.7012  | 208.1 | 979735.346      |
| 35 | 26.1057 | 134 | 3.6943  | 217.4 | 979732.764      |
| 35 | 28.8208 | 134 | 10.4775 | 21.3  | 979791.029      |
| 35 | 28.8022 | 134 | 10.3613 | 22.9  | 979790.632      |
| 35 | 28.8574 | 134 | 10.2734 | 25.9  | 979790.471      |
| 35 | 28.8293 | 134 | 10.1904 | 27.7  | 979790.346      |
| 35 | 28.7876 | 134 | 10.1074 | 32.2  | 979789.242      |
| 35 | 28.7737 | 134 | 10.0088 | 34.0  | 979789.068      |
| 35 | 28.7568 | 134 | 9.9150  | 34.0  | 979789.169      |
| 35 | 28.6467 | 134 | 9.8721  | 36.0  | 979787.929      |
| 35 | 28.5188 | 134 | 9.8203  | 36.8  | 979788.150      |
| 35 | 28.4702 | 134 | 9.7490  | 37.2  | 979787.811      |
| 35 | 27.9023 | 134 | 9.2100  | 55.0  | 979780.892      |
| 35 | 27.7654 | 134 | 9.1211  | 57.7  | 979780.213      |
| 35 | 27.6179 | 134 | 9.0078  | 65.2  | 979778.469      |
| 35 | 27.5476 | 134 | 8.9756  | 69.7  | 979777.457      |
| 35 | 27.3474 | 134 | 8.8887  | 71.9  | 979775.166      |
| 35 | 27.2451 | 134 | 8.8262  | 75.3  | 979774.135      |
| 35 | 27.1150 | 134 | 8.7227  | 77.0  | 979772.344      |
| 35 | 26.9587 | 134 | 8.6377  | 90.5  | 979768.663      |
| 35 | 28.6831 | 134 | 10.0605 | 28.3  | 979789.935      |
| 35 | 28.7107 | 134 | 10.1670 | 26.7  | 979789.907      |
| 35 | 28.7527 | 134 | 10.2383 | 25.1  | 979790.392      |
| 35 | 28.7949 | 134 | 10.3008 | 23.9  | 979790.478      |
| 35 | 28.7134 | 134 | 10.3369 | 23.5  | 979790.168      |
| 35 | 28.6228 | 134 | 10.1309 | 27.4  | 979789.650      |
| 35 | 28.5713 | 134 | 10.0645 | 27.9  | 979789.628      |
| 35 | 28.6018 | 134 | 10.0176 | 29.9  | 979789.520      |
| 35 | 27.9565 | 134 | 9.4570  | 50.3  | 979782.648      |
| 35 | 28.0715 | 134 | 9.6182  | 39.6  | 979785.955      |
| 35 | 28.1538 | 134 | 9.7813  | 35.7  | 979787.823      |
| 35 | 28.2224 | 134 | 9.8799  | 34.3  | 979787.151      |
| 35 | 28.2722 | 134 | 10.0068 | 32.3  | 979787.624      |
| 35 | 28.3828 | 134 | 10.1055 | 29.4  | 979788.675      |
| 35 | 28.4585 | 134 | 10.2139 | 27.2  | 979788.929      |
| 35 | 28.5222 | 134 | 10.3047 | 25.9  | 979789.221      |
| 35 | 28.6052 | 134 | 10.3945 | 23.4  | 979789.890      |

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 28.6274 | 134 | 10.4463 | 23.0  | 979789.868      |
| 35 | 28.6689 | 134 | 10.5391 | 21.4  | 979790.219      |
| 35 | 28.7441 | 134 | 10.6885 | 19.2  | 979790.593      |
| 35 | 28.7932 | 134 | 11.0439 | 14.7  | 979790.913      |
| 35 | 28.7700 | 134 | 11.1650 | 14.2  | 979790.917      |
| 35 | 28.8174 | 134 | 11.2744 | 14.1  | 979791.326      |
| 35 | 28.8672 | 134 | 11.2861 | 12.6  | 979791.300      |
| 35 | 28.8779 | 134 | 11.2129 | 13.5  | 979791.651      |
| 35 | 28.9216 | 134 | 11.3018 | 11.2  | 979791.716      |
| 35 | 28.9773 | 134 | 11.3115 | 11.9  | 979791.970      |
| 35 | 29.0095 | 134 | 10.9824 | 14.5  | 979792.432      |
| 35 | 29.0498 | 134 | 10.9297 | 13.5  | 979792.593      |
| 35 | 29.0884 | 134 | 10.8770 | 12.6  | 979792.764      |
| 35 | 29.5547 | 134 | 7.7109  | 7.0   | 979792.977      |
| 35 | 29.5422 | 134 | 6.7549  | 51.4  | 979782.155      |
| 35 | 29.3186 | 134 | 6.2012  | 79.3  | 979775.785      |
| 35 | 29.0698 | 134 | 5.8115  | 123.0 | 979765.265      |
| 35 | 28.9333 | 134 | 5.2715  | 58.8  | 979778.856      |
| 35 | 28.3740 | 134 | 4.8066  | 29.6  | 979782.020      |
| 35 | 28.3093 | 134 | 4.7959  | 30.3  | 979781.470      |
| 35 | 28.2314 | 134 | 4.7822  | 32.9  | 979780.955      |
| 35 | 28.1584 | 134 | 4.7715  | 37.2  | 979779.993      |
| 35 | 27.6616 | 134 | 4.6816  | 51.8  | 979774.238      |
| 35 | 27.7202 | 134 | 4.7021  | 51.5  | 979774.658      |
| 35 | 27.7622 | 134 | 4.7109  | 49.6  | 979774.743      |
| 35 | 27.8059 | 134 | 4.7119  | 47.4  | 979775.977      |
| 35 | 27.8672 | 134 | 4.6914  | 44.7  | 979776.975      |
| 35 | 27.9084 | 134 | 4.7051  | 43.5  | 979777.068      |
| 35 | 27.9658 | 134 | 4.7480  | 43.7  | 979777.685      |
| 35 | 28.0313 | 134 | 4.7832  | 44.3  | 979777.896      |
| 35 | 27.6909 | 134 | 4.5830  | 53.4  | 979773.810      |
| 35 | 27.6533 | 134 | 3.7031  | 46.5  | 979774.639      |
| 35 | 27.6563 | 134 | 3.8154  | 41.6  | 979776.579      |
| 35 | 27.6626 | 134 | 3.9238  | 42.1  | 979775.500      |
| 35 | 27.7490 | 134 | 3.9521  | 37.3  | 979776.545      |
| 35 | 27.6528 | 134 | 3.9893  | 42.4  | 979775.095      |
| 35 | 27.6267 | 134 | 4.2002  | 48.5  | 979774.123      |
| 35 | 27.5969 | 134 | 4.4023  | 52.1  | 979773.483      |
| 35 | 27.5361 | 134 | 4.2852  | 52.3  | 979773.392      |
| 35 | 27.5244 | 134 | 4.0264  | 51.3  | 979779.483      |
| 35 | 27.5432 | 134 | 3.8809  | 47.2  | 979773.543      |
| 35 | 27.5278 | 134 | 3.5361  | 50.0  | 979772.868      |
| 35 | 27.4094 | 134 | 3.6201  | 48.7  | 979772.385      |
| 35 | 27.3479 | 134 | 3.6680  | 47.4  | 979772.163      |
| 35 | 27.4829 | 134 | 3.7744  | 44.7  | 979773.540      |
| 35 | 27.4314 | 134 | 3.9971  | 53.5  | 979772.095      |
| 35 | 27.4702 | 134 | 4.1279  | 52.6  | 979772.663      |
| 35 | 27.3940 | 134 | 4.2666  | 56.7  | 979771.828      |
| 35 | 27.3601 | 134 | 4.3682  | 61.8  | 979770.786      |
| 35 | 27.2424 | 134 | 4.3818  | 67.3  | 979769.001      |
| 35 | 27.0710 | 134 | 4.5811  | 79.2  | 979765.987      |
| 35 | 27.2314 | 134 | 4.6631  | 72.4  | 979768.050      |
| 35 | 27.3408 | 134 | 4.6738  | 65.0  | 979769.950      |
| 35 | 27.4851 | 134 | 4.6719  | 59.0  | 979772.264      |
| 35 | 27.0542 | 134 | 4.9951  | 127.5 | 979756.028      |
| 35 | 27.0239 | 134 | 5.3828  | 218.7 | 979738.238      |
| 35 | 27.2766 | 134 | 5.6084  | 148.6 | 979753.844      |
| 35 | 29.0222 | 134 | 10.8037 | 14.8  | 979792.300      |
| 35 | 28.9824 | 134 | 10.8564 | 14.7  | 979792.278      |
| 35 | 28.8882 | 134 | 10.4443 | 20.5  | 979791.328      |
| 35 | 28.8625 | 134 | 10.3955 | 20.7  | 979790.874      |
| 35 | 27.4797 | 134 | 7.5830  | 140.6 | 979759.236      |
| 35 | 27.5725 | 134 | 7.1982  | 138.5 | 979758.809      |
| 35 | 27.4995 | 134 | 6.9756  | 114.0 | 979763.445      |
| 35 | 26.3088 | 134 | 5.4395  | 209.4 | 979736.748      |
| 35 | 26.3181 | 134 | 5.3301  | 241.9 | 979730.187      |

付録表2 重力測定データ

| 緯度 |         | 経度  |         | 標高(m) | 絶対重力値<br>(mGal) |
|----|---------|-----|---------|-------|-----------------|
| °  | '       | °   | '       |       |                 |
| 35 | 26.3003 | 134 | 4.8379  | 174.5 | 979742.976      |
| 35 | 27.1206 | 134 | 4.7539  | 84.1  | 979764.899      |
| 35 | 27.1960 | 134 | 4.7725  | 76.8  | 979766.728      |
| 35 | 26.9690 | 134 | 4.6318  | 88.2  | 979763.599      |
| 35 | 27.0481 | 134 | 4.6270  | 84.2  | 979764.772      |
| 35 | 27.1257 | 134 | 4.5020  | 75.4  | 979766.830      |
| 35 | 27.0708 | 134 | 4.5244  | 80.3  | 979765.944      |
| 35 | 26.9521 | 134 | 4.5625  | 88.2  | 979763.211      |
| 35 | 27.4165 | 134 | 5.8936  | 122.2 | 979759.818      |
| 35 | 27.5039 | 134 | 6.1162  | 104.3 | 979764.169      |
| 35 | 27.9504 | 134 | 5.9561  | 238.9 | 979735.550      |
| 35 | 27.7317 | 134 | 5.9824  | 196.8 | 979745.423      |
| 35 | 27.7573 | 134 | 6.5957  | 79.1  | 979770.805      |
| 35 | 28.2666 | 134 | 7.1338  | 46.7  | 979780.706      |
| 35 | 29.2776 | 134 | 6.8477  | 22.6  | 979787.800      |
| 35 | 28.7834 | 134 | 10.5078 | 22.7  | 979790.535      |
| 35 | 28.2949 | 134 | 9.8086  | 34.9  | 979787.790      |
| 35 | 28.3684 | 134 | 9.9072  | 32.5  | 979788.146      |
| 35 | 28.4570 | 134 | 10.0459 | 29.4  | 979788.780      |
| 35 | 28.5208 | 134 | 10.1455 | 26.1  | 979789.284      |
| 35 | 28.4146 | 134 | 7.3457  | 43.0  | 979783.526      |
| 35 | 28.4314 | 134 | 7.4141  | 39.8  | 979784.409      |
| 35 | 28.4792 | 134 | 7.4717  | 37.9  | 979785.084      |
| 35 | 28.5334 | 134 | 7.5293  | 34.7  | 979785.863      |
| 35 | 28.5913 | 134 | 7.6025  | 30.5  | 979786.925      |
| 35 | 28.6306 | 134 | 7.6543  | 28.6  | 979787.552      |
| 35 | 28.6721 | 134 | 7.7012  | 26.0  | 979788.128      |
| 35 | 28.9780 | 134 | 10.6543 | 16.7  | 979792.604      |
| 35 | 29.0046 | 134 | 10.6914 | 15.8  | 979792.781      |
| 35 | 29.0620 | 134 | 10.7529 | 14.1  | 979793.651      |
| 35 | 29.1262 | 134 | 10.8271 | 13.7  | 979793.626      |
| 35 | 29.1782 | 134 | 10.9795 | 12.4  | 979793.740      |
| 35 | 29.0991 | 134 | 11.0869 | 12.0  | 979793.211      |
| 35 | 29.1616 | 134 | 11.1387 | 11.0  | 979793.202      |
| 35 | 28.8623 | 134 | 10.6631 | 18.4  | 979791.390      |
| 35 | 28.9026 | 134 | 10.5781 | 17.8  | 979791.925      |
| 35 | 28.8674 | 134 | 10.5664 | 18.2  | 979791.405      |
| 35 | 28.6816 | 134 | 10.6963 | 20.1  | 979790.664      |
| 35 | 28.6599 | 134 | 10.6172 | 20.5  | 979790.349      |
| 35 | 28.5896 | 134 | 10.4736 | 21.4  | 979789.774      |

**END**