

4. 地下構造

①重力による地下構造

重力測定が LaCoste-Romberg 重力計を用いて各地で実施されている。図 I-4-1 (a), (b) には広域をカバーしている地域のブーゲー異常図を示す。さらに小区域では密度の濃い測定が実施されている。図 I-4-2 には有馬-高槻構造線を中心とした地域のブーゲー異常図と微小地震観測による震央を重ねたものを示す。図 I-4-3 は北九州地域のブーゲー異常図である。その他、山崎断層付近の調査などいろいろなスケールでの重力調査が行われている。

②地震波速度構造

(1)人工地震等による速度構造

人工地震による地殻構造解析は、主に爆破地震動研究グループによってなされてきた。図 I-4-4 には倉吉-花房鉱山での爆破地震動観測によって得られた構造を示す。この構造はその後の倉吉鉱山による爆破によって改訂された(図 I-4-5)。その他、小規模の構造調査も実施されている。図 I-4-6 は、琵琶湖の基盤と堆積層の調査のために実施された調査の観測点と求められた構造である。

1979年からは第4次地震予知計画が開始されたが、爆破地震動研究グループはこの年から基礎研究として人工地震による地殻構造調査を開始した。図 I-4-7 は1988, 1989年に実施した探査の測線である。1988年は第5次地震予知計画の最後の年で測線長は約70km, 1989年からは第6次地震予知計画で測線長を200km余とした。観測点の密度は両方ともほぼ同じで約1~2 km である。図 I-4-8 は1988年の結果の一部で、データに対して反射法的な処理をしたものである。地殻下部およびフィリピン海プレートからの反射波が検出されている。図 I-4-9 は1989年の S1 のレコードセクションである。割合単純な地殻構造の様子が分かるとともに、下部地殻からの顕著な反射波が良好に記録されている。また、これらの爆破地震動研究グループの爆破と採石爆破等を用いて、内陸重点地域観測の一環として、人工地震探査が実施されており、その結果近畿地方では地殻下部の reflective な様子がはっきりしてきた。図 I-4-10 はその一例で琵琶湖南部を横切る測線の結果である。

四国地域でも爆破地震動研究グループ等によって構造調査が実施されてきた。図 I-4-11 は一例である。中央構造線付近で表層が顕著に変化している。また、九州でも地質調査所によって霧島付近を中心に人工地震探査が実施された。図 I-4-12 はその結果の一部である。九州地域ではこれより深い深度の探査は実施されていないので、今後の調査が待たれる。

海域においても、調査がなされ、マルチチャンネル探査等によって堆積層などの浅層の構造がかなり調査されている(図 I-4-13, 14)。浅層の構造調査に比べると、地殻全体の構造がわかるような調査は少ない。図 I-4-15, 16, 17 は1960年代に行われた主にソノブイを用いた P 波の構造であり、それぞれ熊野灘・四国沖、北琉球、中琉球地域の構造である。図 I-4-18, 19 は1980年代にはいって海底地震計を用いた調査による北琉球および南琉球の構造である。

(2) 自然地震による地震波速度・減衰構造

地震波のPおよびS波の走時を用いて速度構造のインバージョンが行われている。これらの研究は観測点の密度と結果の空間的な分解能が密接に関連している。図I-4-20は主に気象庁のデータなどを用いた解析結果である。このほか近畿中北部、四国、北陸および九州の雲仙地域など微小地震観測網ごとの解析結果もある。

地震波の振幅の減衰を利用して、Qが求められている。多くの地域でコーダQの解析がなされているが、その地域的な変化の分解能はあまりない。地震の震度を用いて求めたQ構造の地域的な変化を図I-4-21に示す。

その他自然地震の走時解析によって、地殻構造が求められている。さらに和達ダイアグラムを用いることによって、 V_p/V_s の構造が求められている。さらに、地殻下部などの反射波を自然地震の反射波の検出によって求めようとする試みもなされ、反射面等が求められている(図I-4-22)。顕著な屈折波の利用によって、マントル最上部も含めた構造の推定もなされている(図I-4-23)。このように物性の推定を含めた構造の解明が地震発生基礎として役立つものと思われる。

③ 電磁氣的地下構造

航空磁気測量などによる磁気異常図が得られている。図I-4-24は海上保安庁水路部のデータ及び新エネルギー・産業技術開発機構の未公表データ(新エネルギー・産業技術開発機構の承認済み)を使用して作成した磁気異常図である。暖色系は正の異常、寒色系は負の異常を表す。五島列島から南西方向に延びる正の異常、及び中国地方を東西に延びる正の異常が顕著である。四国沖には弱いながらも、いわゆる海洋底拡大に伴う縞状磁気異常が見られる。図I-4-25は地磁気異常陰影図である。磁気異常の分布を地形のように考え、光を北から水平方向にあてたときにできる陰影を濃淡で表現している。このような陰影図では、磁気異常の線状構造が浮かび上がって見える。例えば、中央構造線や四国中部を東西に走る構造線などがよく見える。また、四国や九州沖の海域では全磁力の分布が滑らかであることがわかる。

また、電磁氣的探査により比抵抗の構造が得られている。図I-4-26は中国、四国地方における比抵抗観測点の分布、及び測線方向にとった2次元比抵抗構造断面である。中国地方では、表層付近に数百 Ω m程度のやや低比抵抗層が認められるほかは地殻の比抵抗は10k Ω mと非常に高い。これに対し四国では、中央構造線以南の上部地殻は概して比抵抗が数十 Ω mと非常に低い。比抵抗構造からは、中央構造線は大きな境界となっている。また、下部地殻は全般に比抵抗が高い。図I-4-27、はフィリピン海プレートから琉球弧及び沖縄トラフにいたる地下の電氣的構造探査のための海底地磁気変化観測点の分布、及びOKN(沖縄)を通る測線に対する2次元電気伝導度構造断面である。数値は電気伝導度(単位はS/m)を表す。表層付近の高電気伝導度層は海及び海底下の堆積層である。

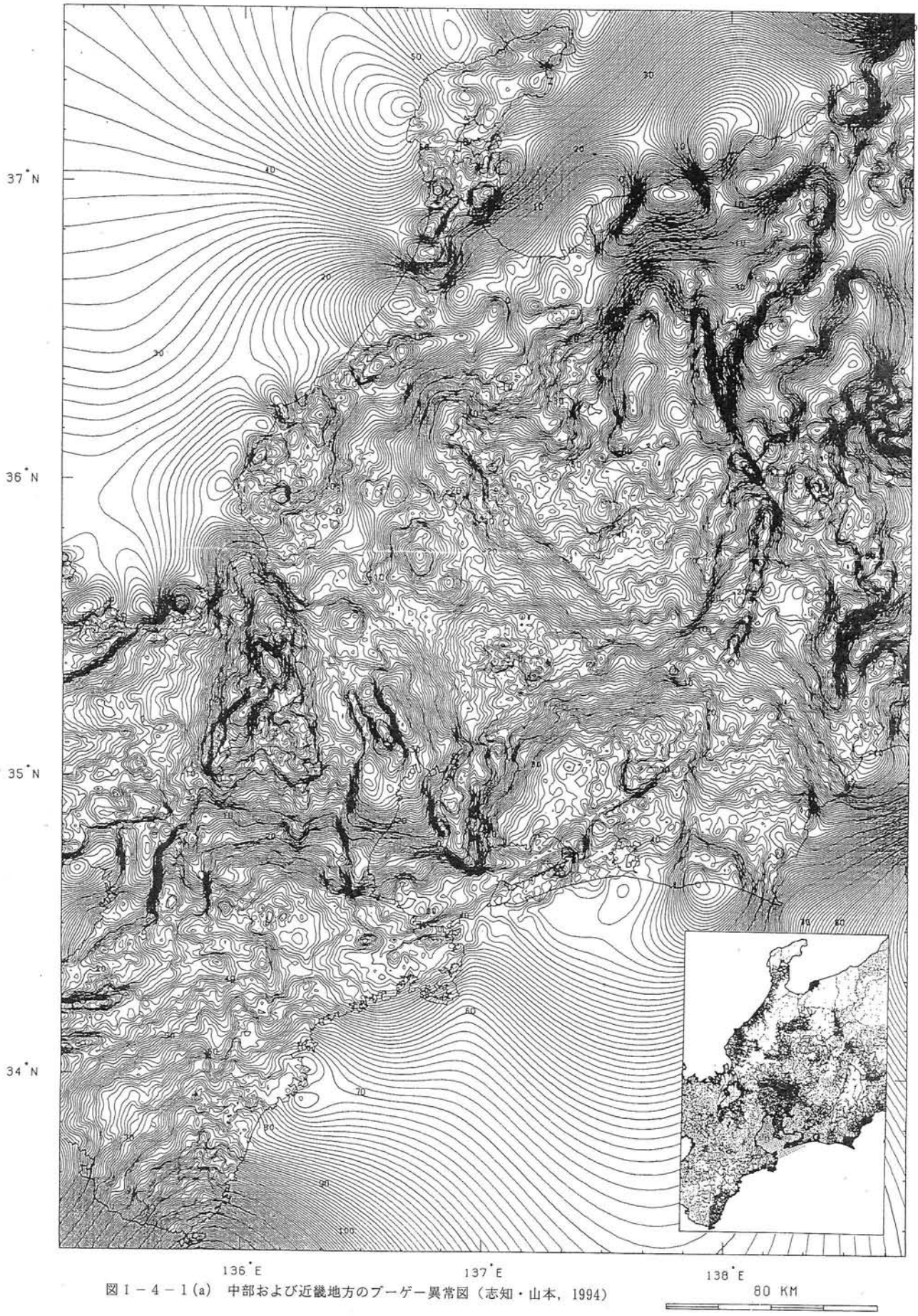
以上のような構造を総合的に評価し、地震発生との関連を調査し、地震発生の不均質場の性質を解明しようという試みがなされ始めている。このための基礎として、さらに広域にわたる精度の高い構造調査が重要になっている。

[伊藤 潔]

参 考 文 献

- 1) 爆破地震動研究グループ : 地震 2, 19 (1966), 107-124.
- 2) 爆破地震動研究グループ : 地震研究所彙報, 67 (1992), 37-56.
- 3) Hashida, T. : Bull. Earthq. Res. Inst., 62 (1987), 247-287.
- 4) Hashizume, M. et al. : Bull. Earthq. Res. Inst., 44 (1966), 109-120.
- 5) 橋爪道郎・ほか : 地震 2, 19 (1966), 125-134.
- 6) Hirahara, K. : Tectonophys, 79 (1981), 1-41.
- 7) Hirata, N. et al. : Bull. Earthq. Res. Inst., 66 (1991), 37-70.
- 8) Honkura, Y. et al. : J. Geomag. Geoelectr., 43 (1991), 71-76.
- 9) Hori, S. et al. : Geophys. J. R. astr. Soc., 83 (1985), 169-197.
- 10) 伊神 輝・ほか : 地震 2, 35 (1982), 367-375.
- 11) Ikami, A. et al. : J. Phys. Earth, 34 (1986), 457-474.
- 12) 井上 公・ほか : 地震 2, 37 (1984), 163-183.
- 13) 伊藤 潔・ほか : 地震 2, 35 (1982), 353-366.
- 14) 伊藤 潔・ほか : 地震 2, 35 (1982), 377-391.
- 15) 伊藤 潔・ほか : 地震 2, 42 (1989), 485-495.
- 16) Iwasaki et al. : Geophys. J., 102 (1990), 631-651.
- 17) Kakuta, T. : J. Phys. Earth, 30 (1982), 113-129.
- 18) 片尾 浩 : 連絡会報, 50 (1993), 512-515.
- 19) 久保寺 章・ほか : 自然災害資料解析, 3 (1976), 45-53.
- 20) Ludig, W. J. et al. : J. Geophys. Res., 78 (1973), 2526-2536.
- 21) Murauchi, S. et al. : J. Geophys. Res., 73 (1968), 3143-3171.
- 22) 岡野健之助・木村昌三 : 地震 2, 36 (1983), 431-437.
- 23) Research Group for Explosion Seismology: Bull. Earthq. Res. Inst., 44 (1966), 89-107.
- 24) Research Group for Explosion Seismology: Bull. Earthq. Res. Inst., 48 (1970), 1121-1127.
- 25) Sasaki, Y. et al. : Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 48 (1970), 1129-1136.
- 26) Shimakawa, Y. and Y. Honkura: J. Geomag. Geoelectr., 43 (1991), 1-20.
- 27) 志知龍一・山本明彦 : 地質調査所報告, 280 (1994), 1-28.
- 28) Yoshii, T. et al. : J. Geophys. Res., 78 (1973), 2517-2525.
- 29) Yoshii, T. et al. : J. Phys. Earth, 22 (1974), 109-121.
- 30) 吉井敏尅・ほか : 地震学会講演予稿集, No.2 (1990), 89,
- 31) 吉井敏尅 : 地震学会講演予稿集, No.2 (1990), 91.

DENSITY : 2.67



136°E 137°E 138°E
80 KM
図 I-4-1(a) 中部および近畿地方のブーゲー異常図 (志知・山本, 1994)

*** BOUGUER ANOMALY IN THE CHUGOKU & SHIKOKU AREA ***

DENSITY : 2.67

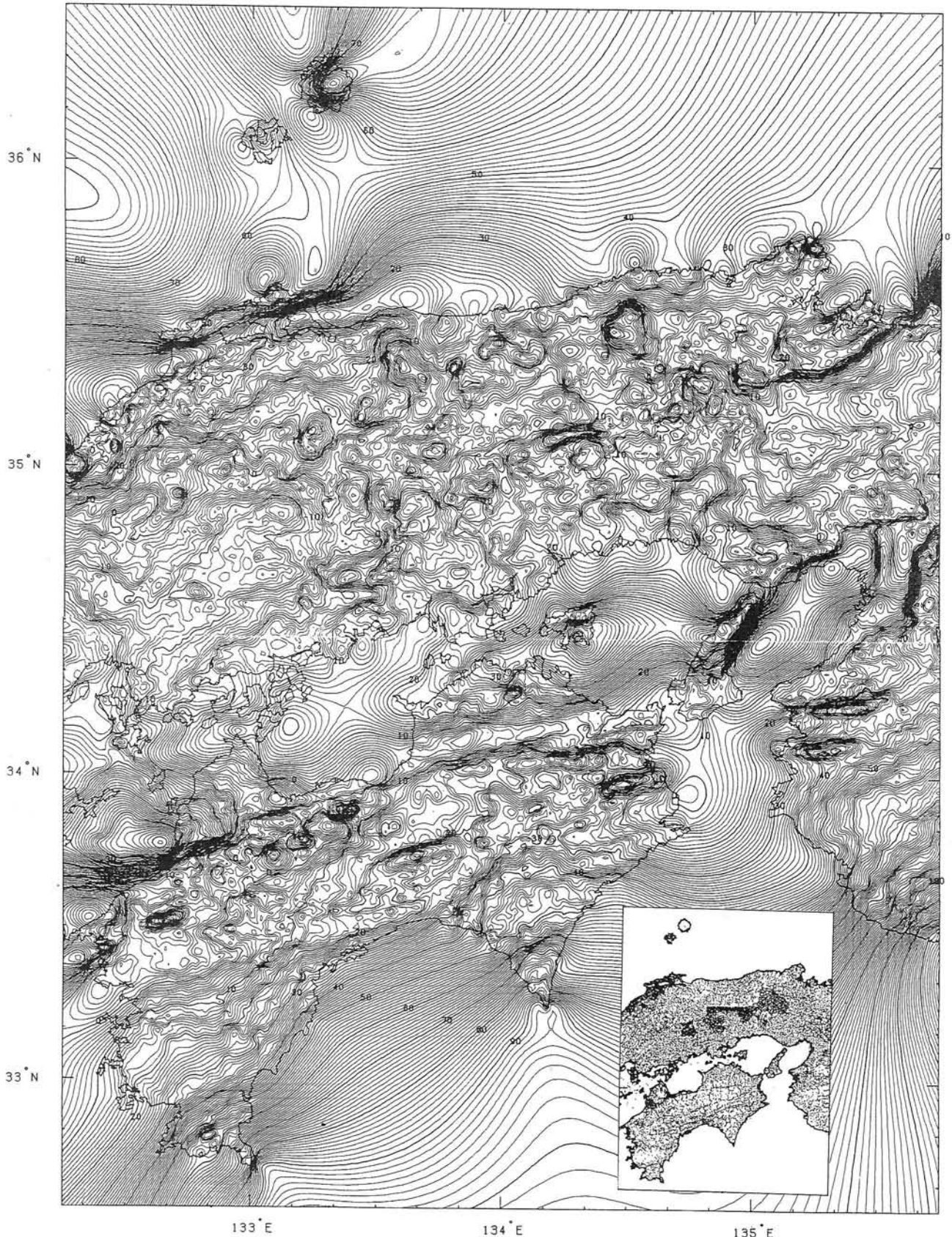


図 I - 4 - 1 (b) 中国および四国地方のブーゲー異常図 (志知・山本, 1994)

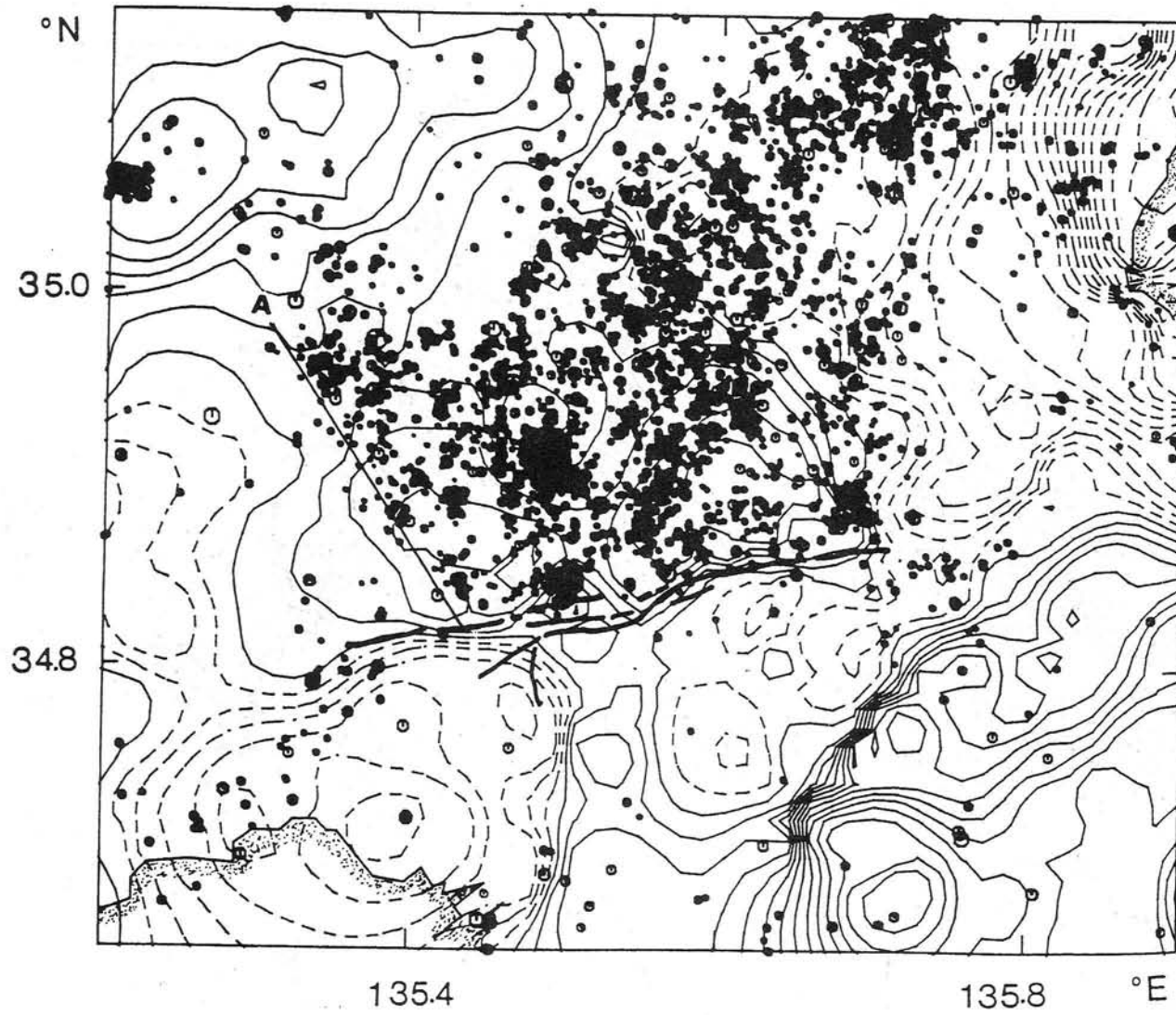


図 I - 4 - 2 有馬-高槻構造線付近のブーゲー異常と震央分布図 (伊藤・ほか, 1989)

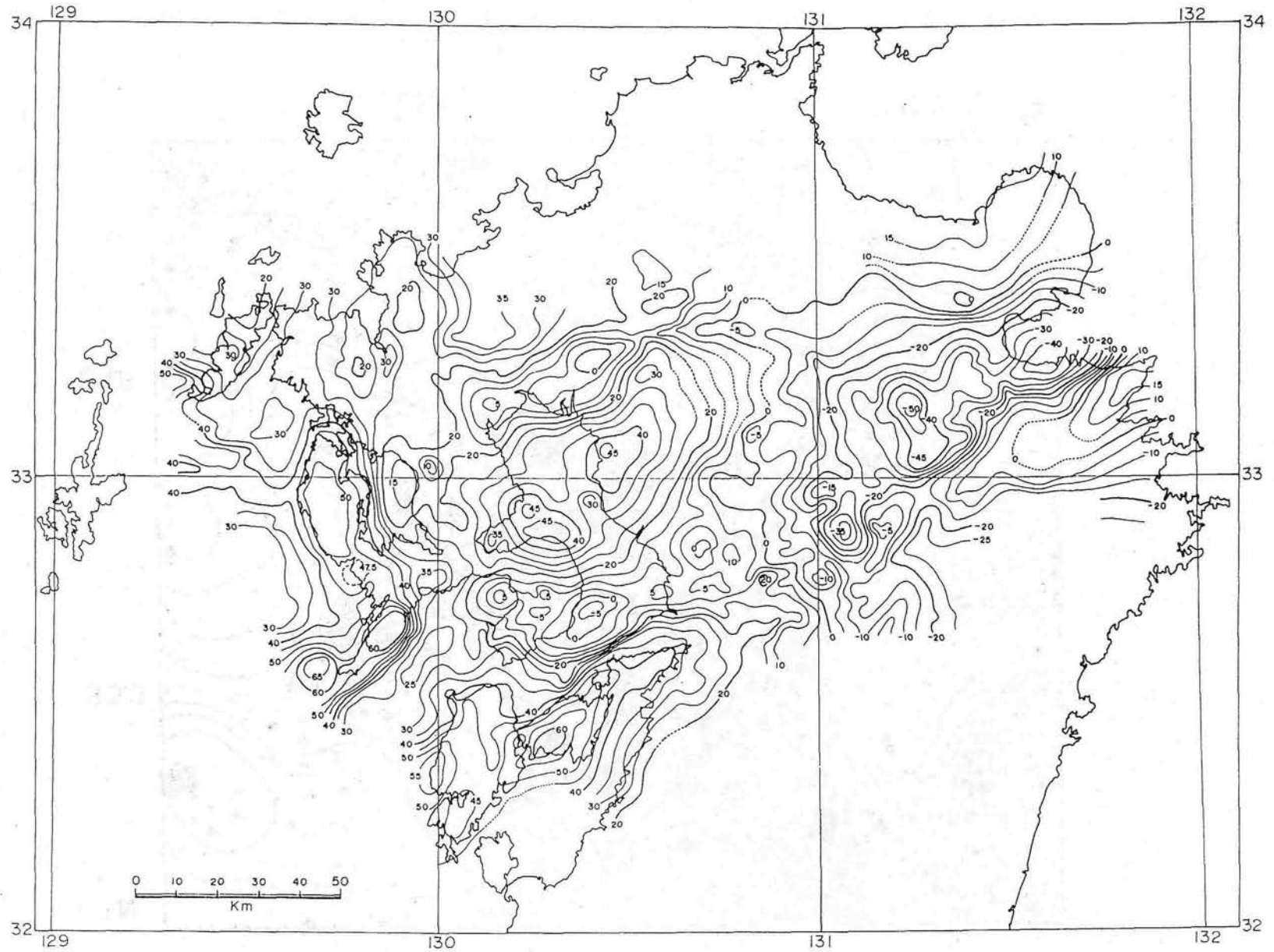


図 I - 4 - 3 北九州におけるブーゲー異常図 (久保寺・ほか, 1976)

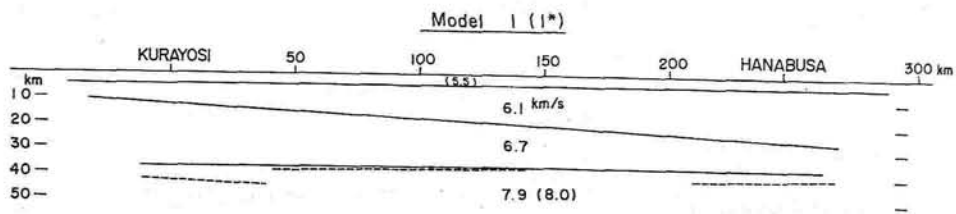
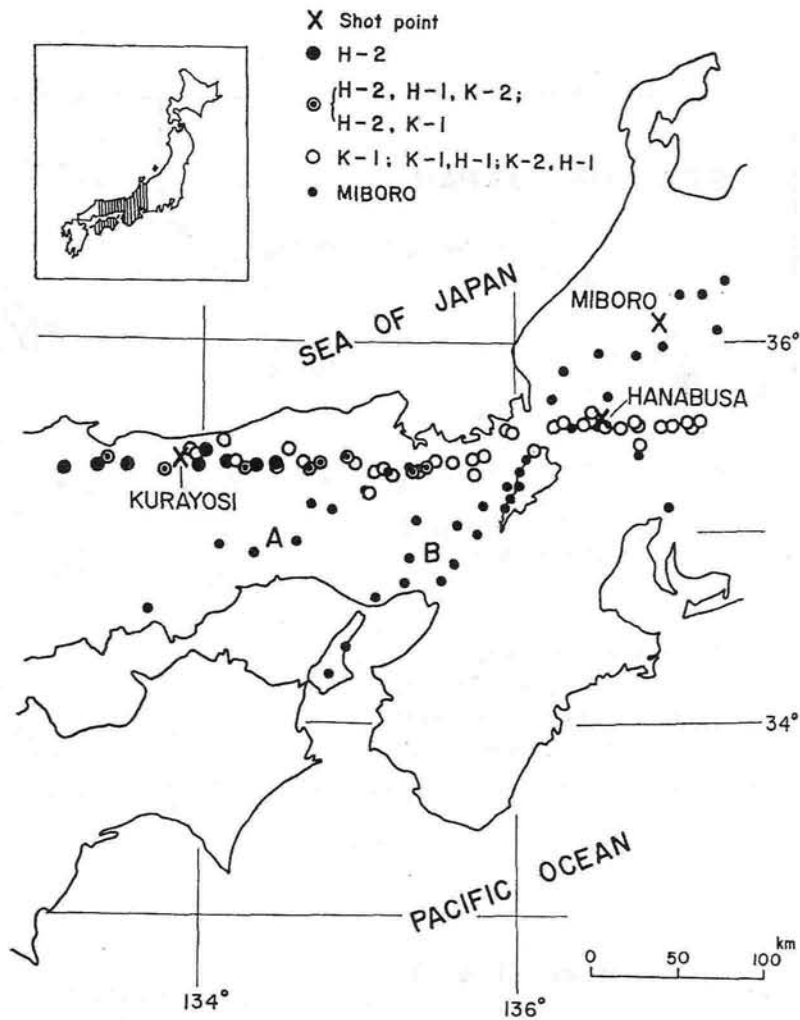


Fig. 3. Crustal structure of Model 1 (1*)

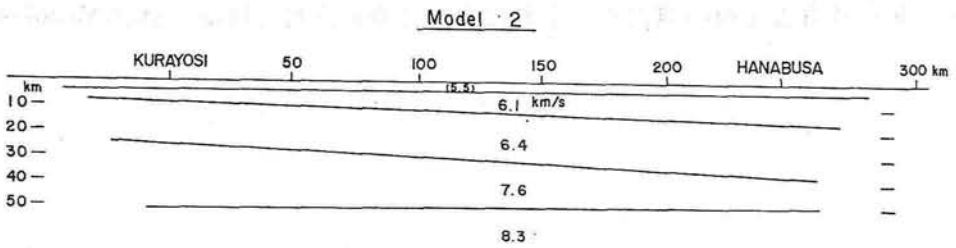


図 I - 4 - 4 倉吉～花房爆破の測線と求められた速度構造 (佐々木・ほか, 1970)

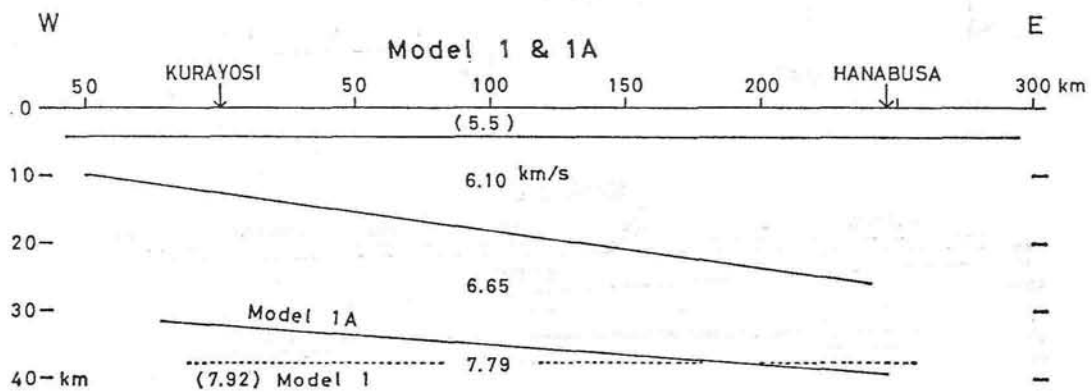
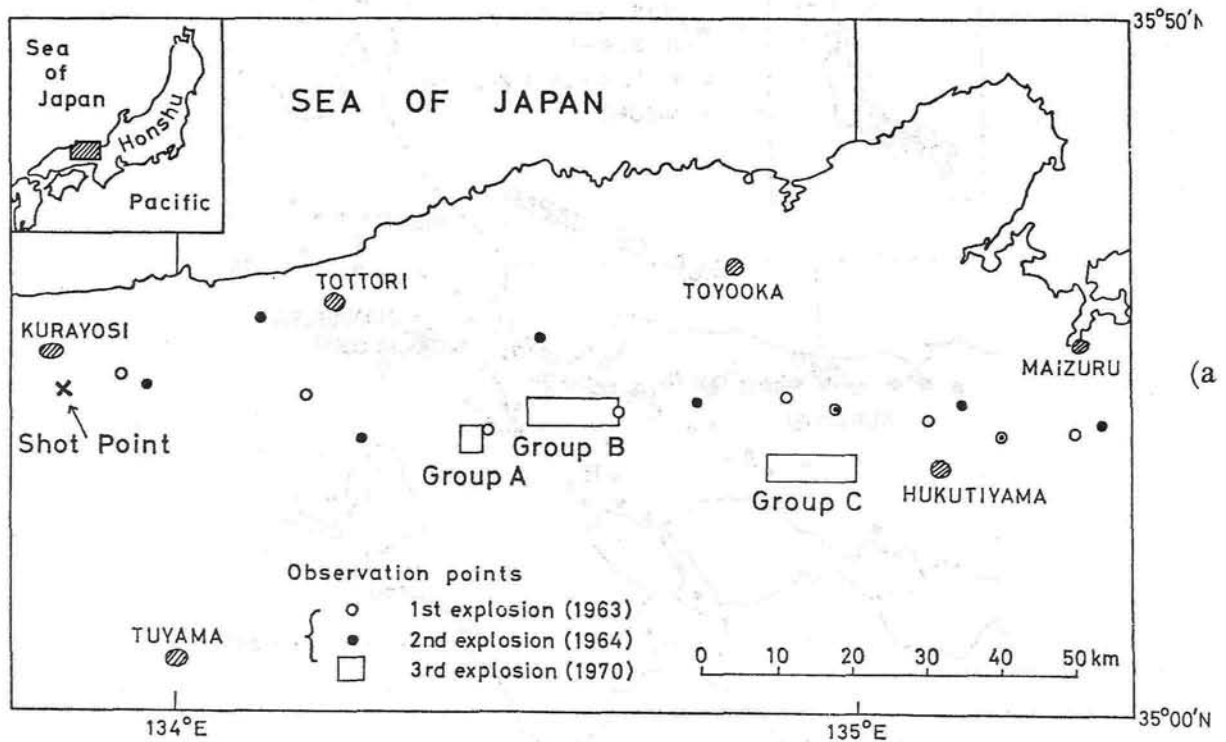


図 1-4-5 第 3 回倉吉爆破の観測点とそれによって修正された構造 (after Yoshii et al., 1974)

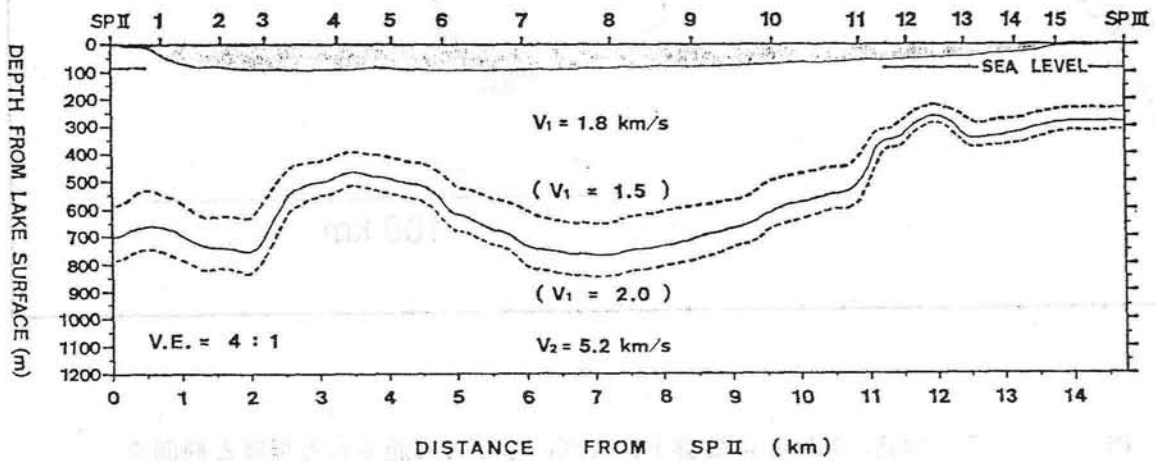
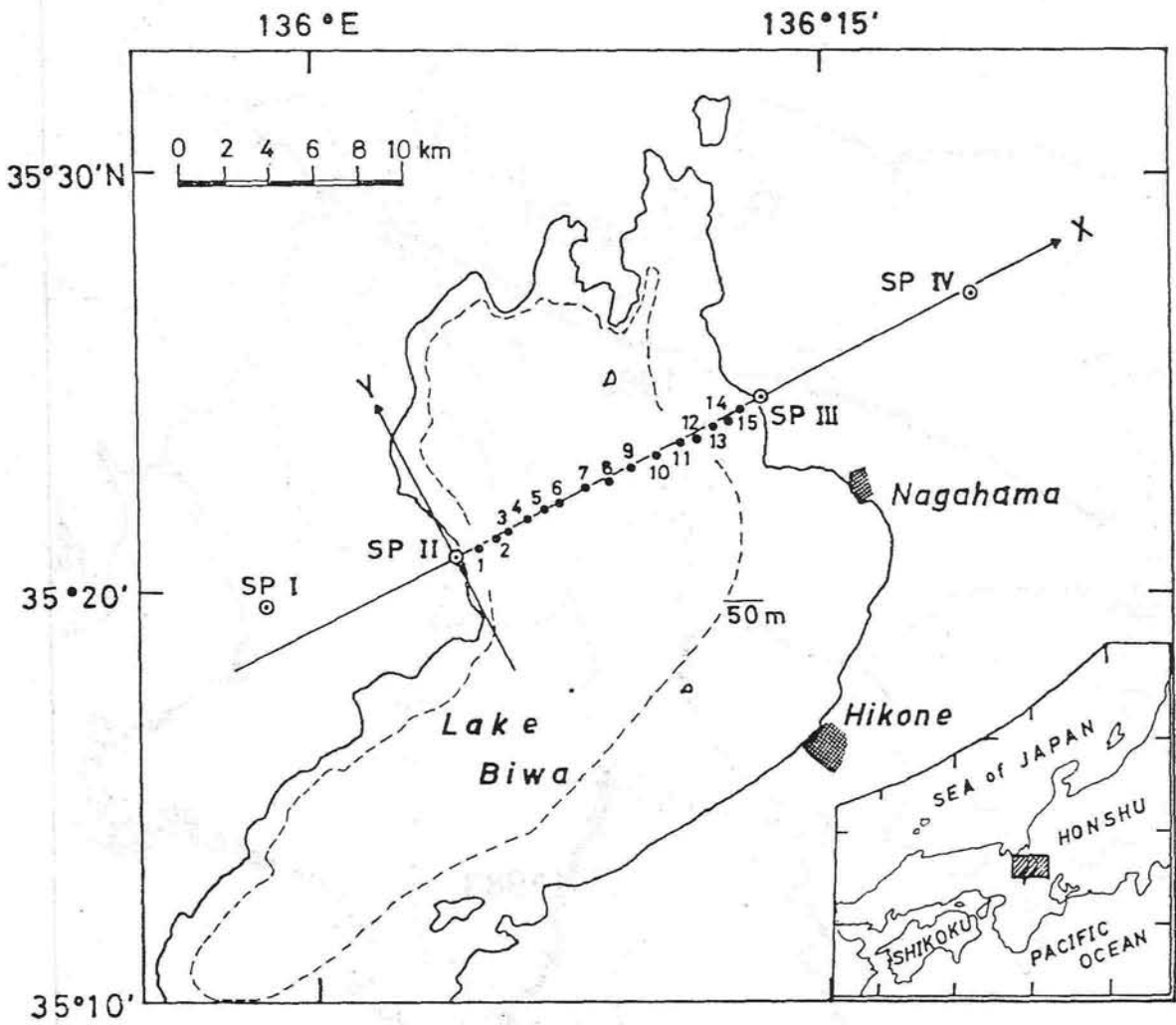


図 I - 4 - 6 琵琶湖底の調査のための爆破とその結果 (伊藤・ほか, 1982)

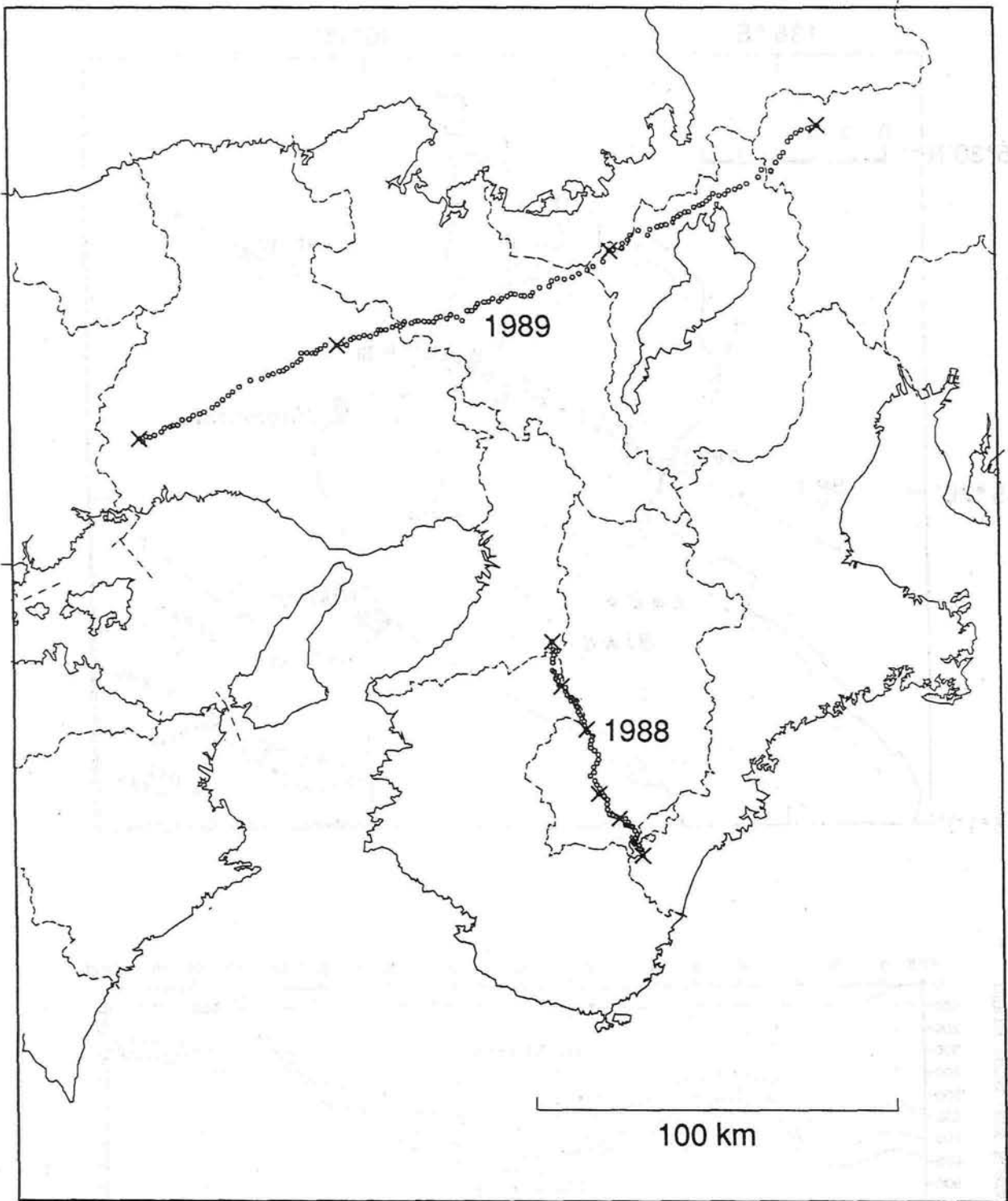


図 1 - 4 - 7 1988, 1989年に地震予知計画のもとで実施された爆破と観測点
 (吉井・ほか, 1990)

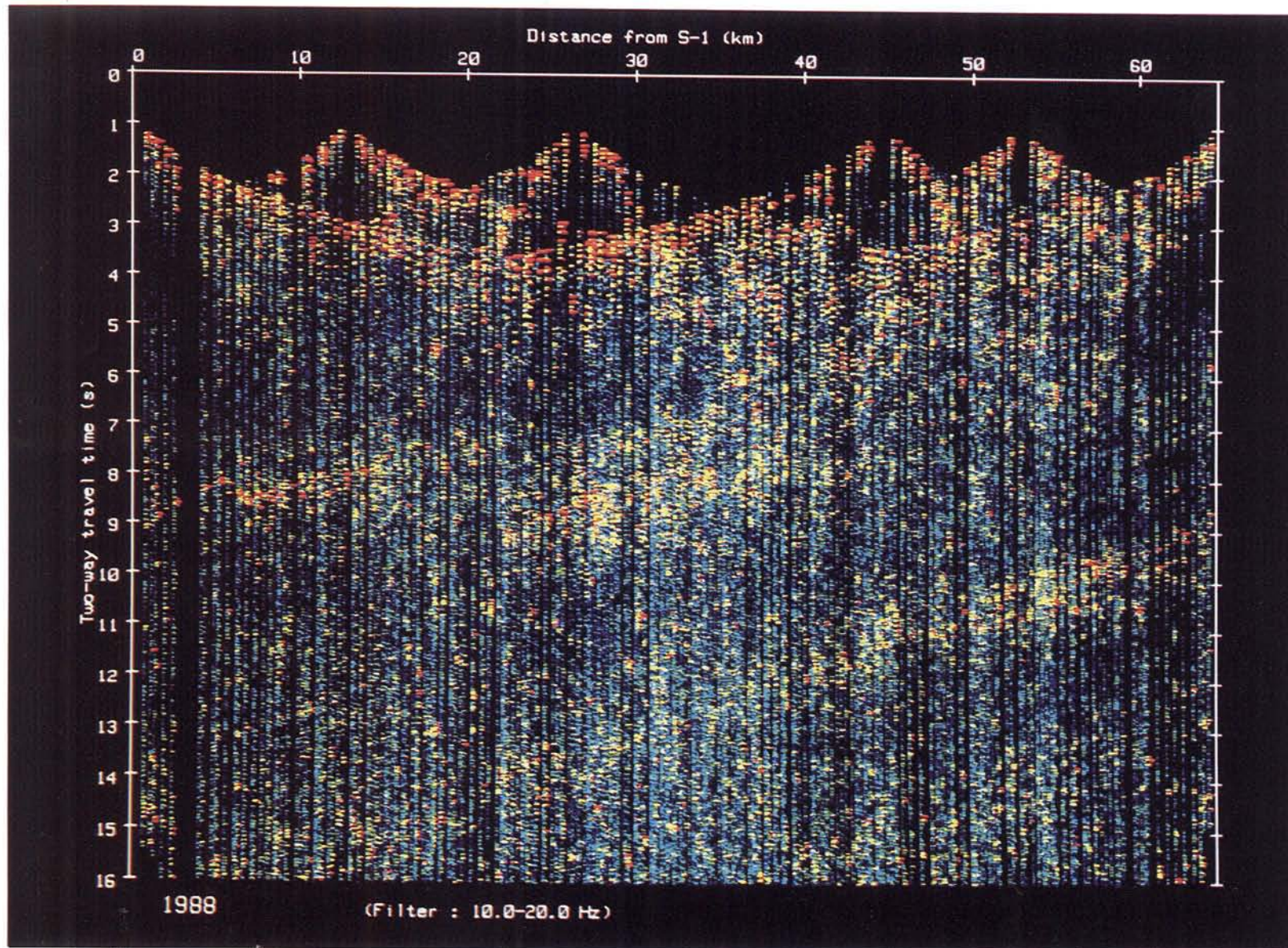


図 I - 4 - 8 1988年に実施された爆破の反射法的レコードセクション，縦軸は往復走時（吉井，1990）

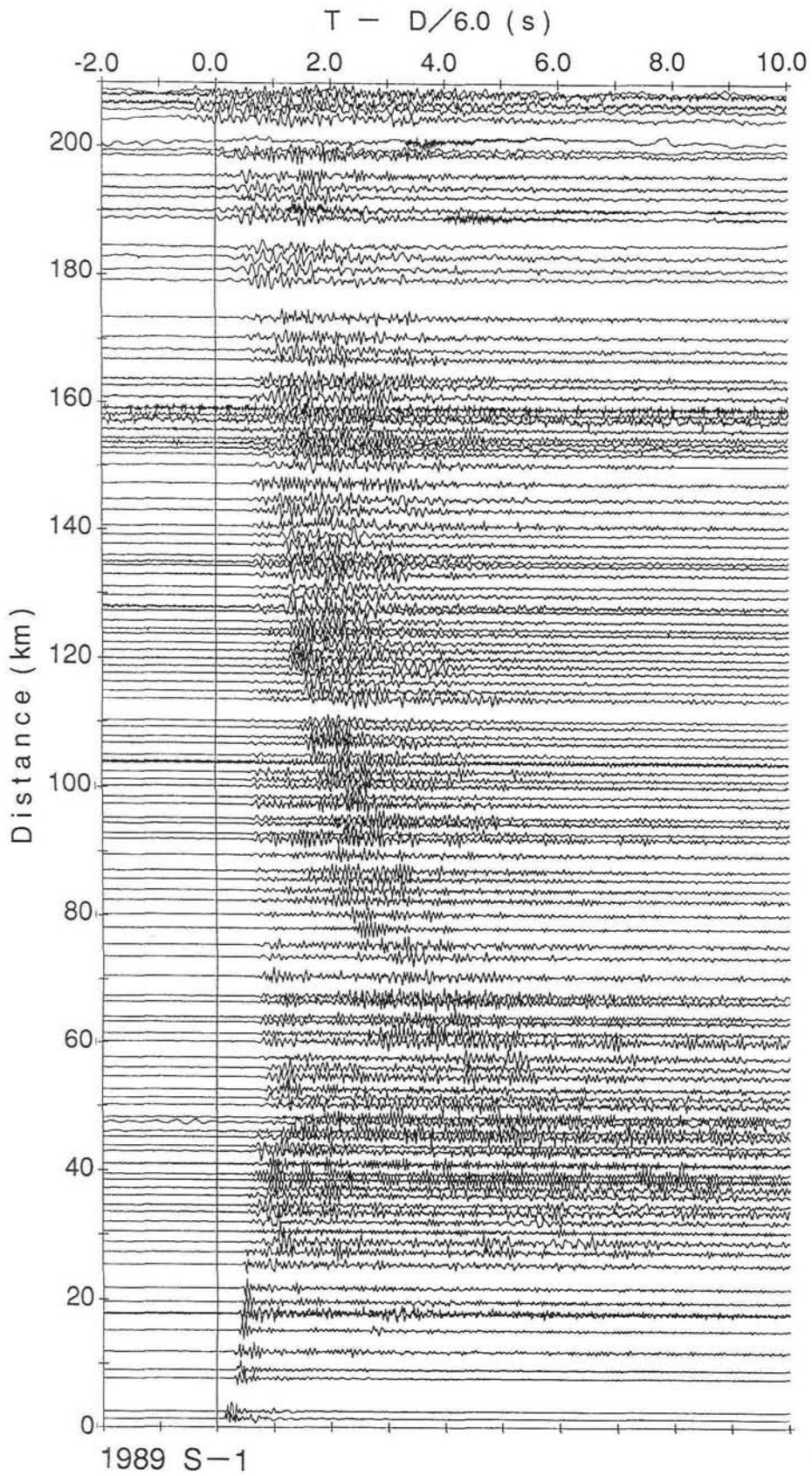
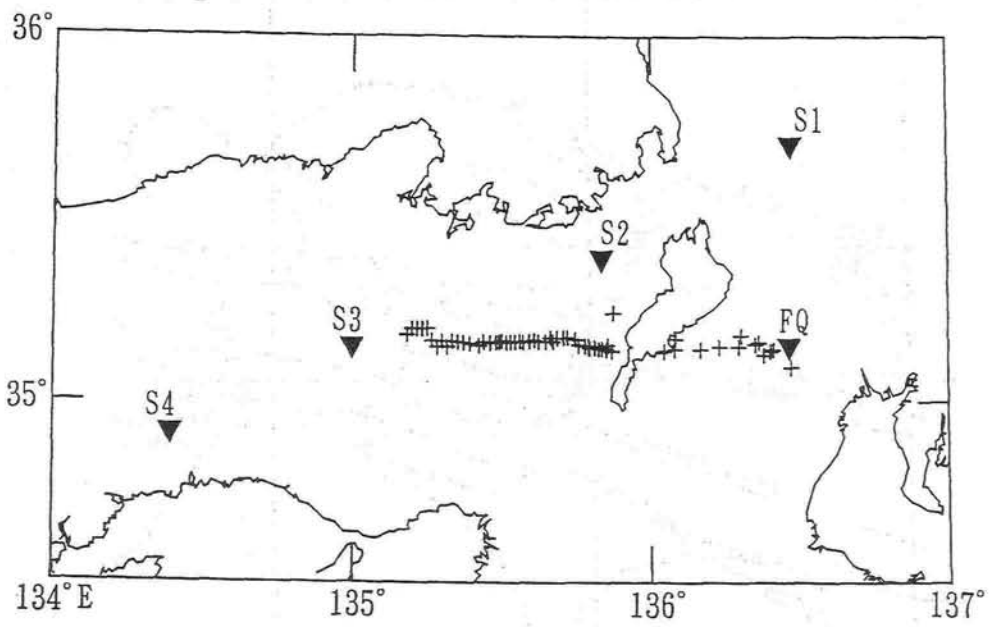


図 I - 4 - 9 1989年に実施された爆破のレコードセクション (S1)



藤原鉦山から観測点までの距離 (km)

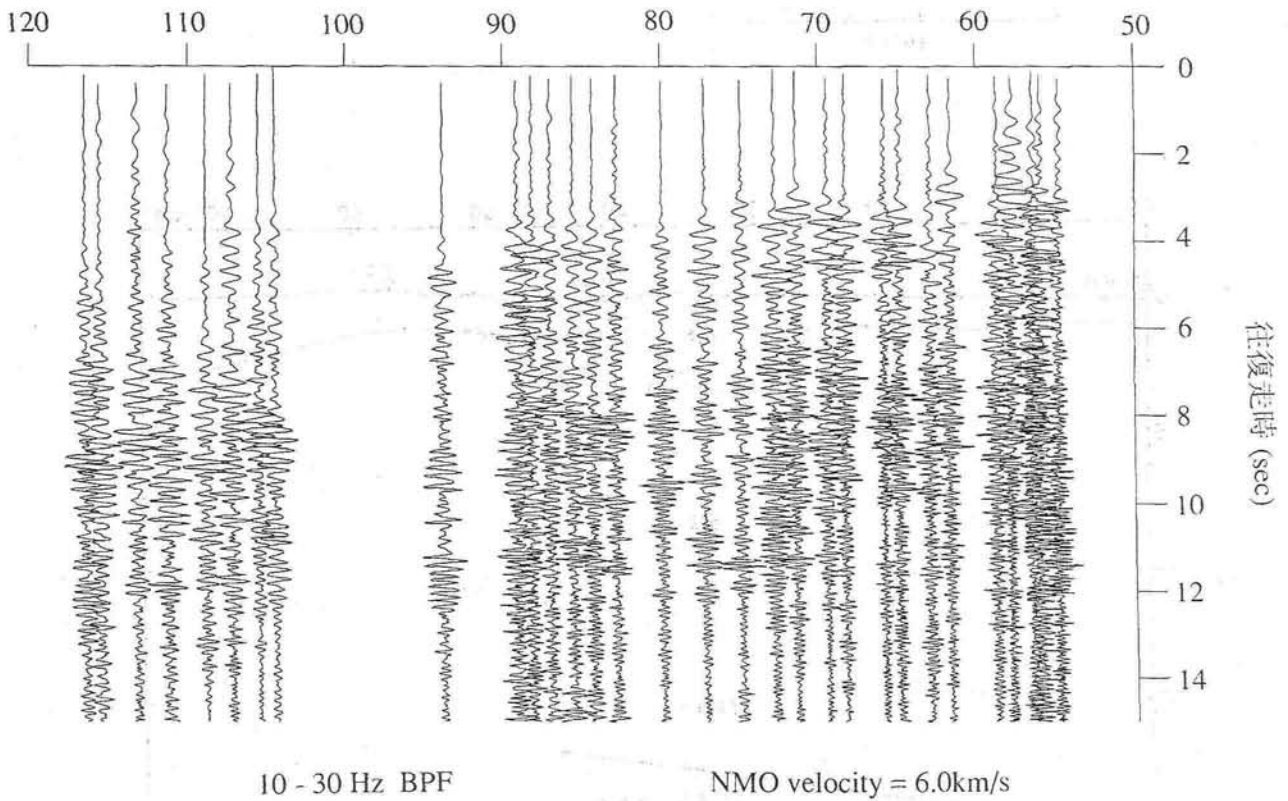


図 1-4-10 琵琶湖南部を横切る測線と藤原鉦山爆破の重ね合わせによる反射法的レコードセクション，下部地殻からの反射波が顕著である。

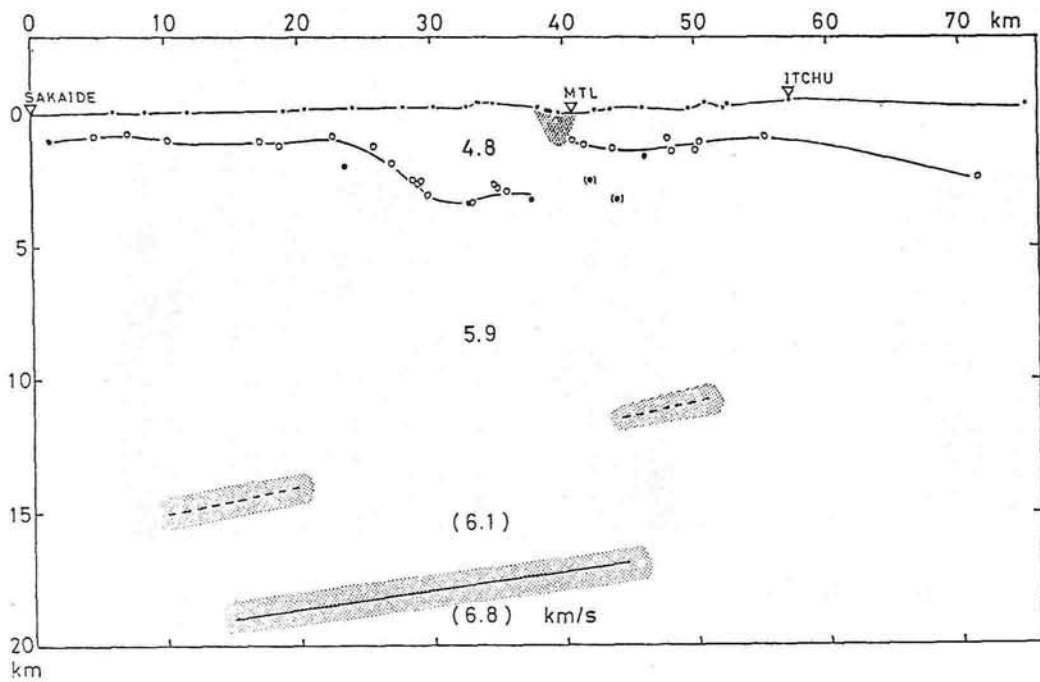
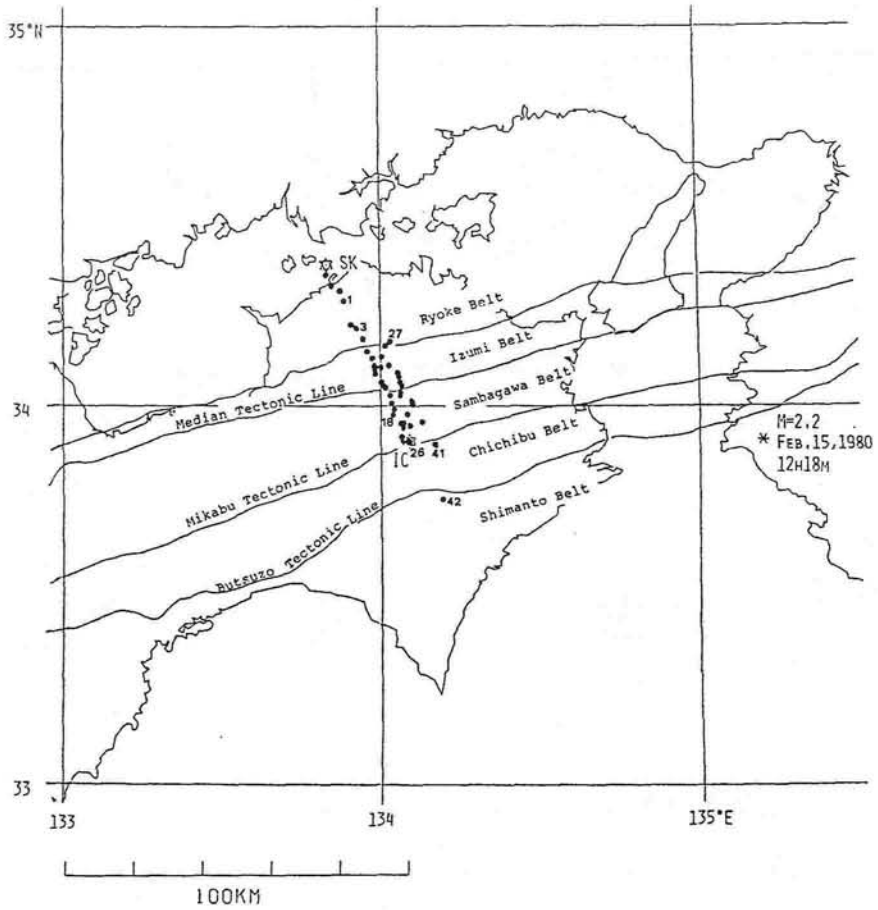


図 I - 4 - 11 坂出沖一宇爆破の測線および得られた速度構造 (井上・ほか, 1984)

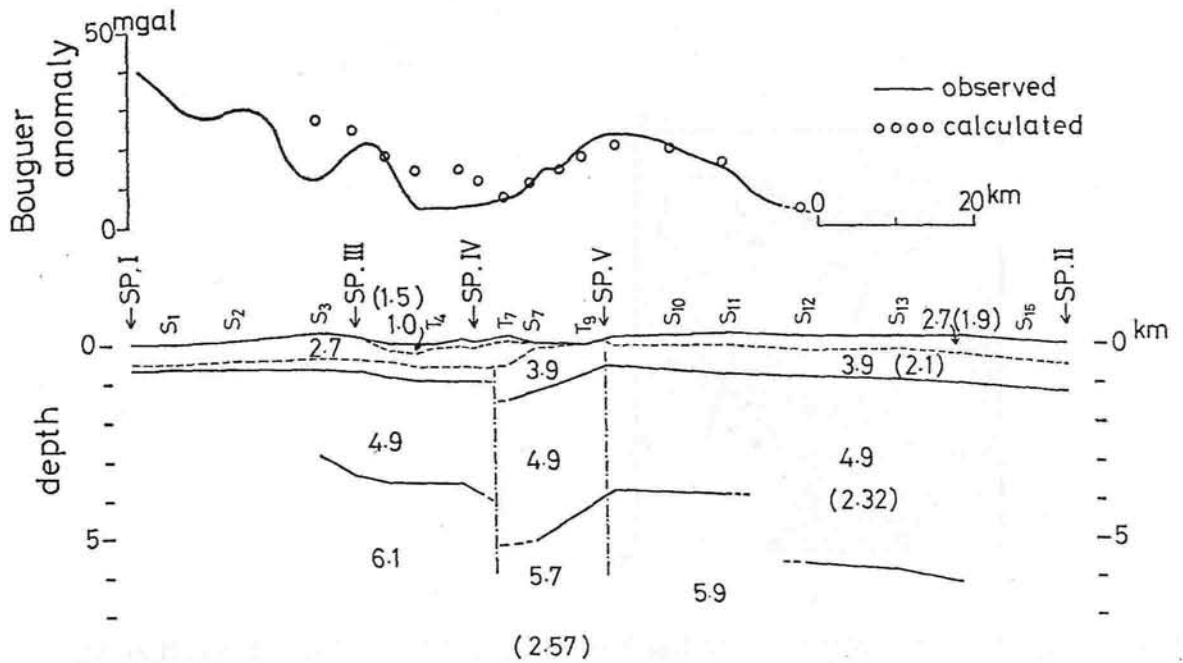
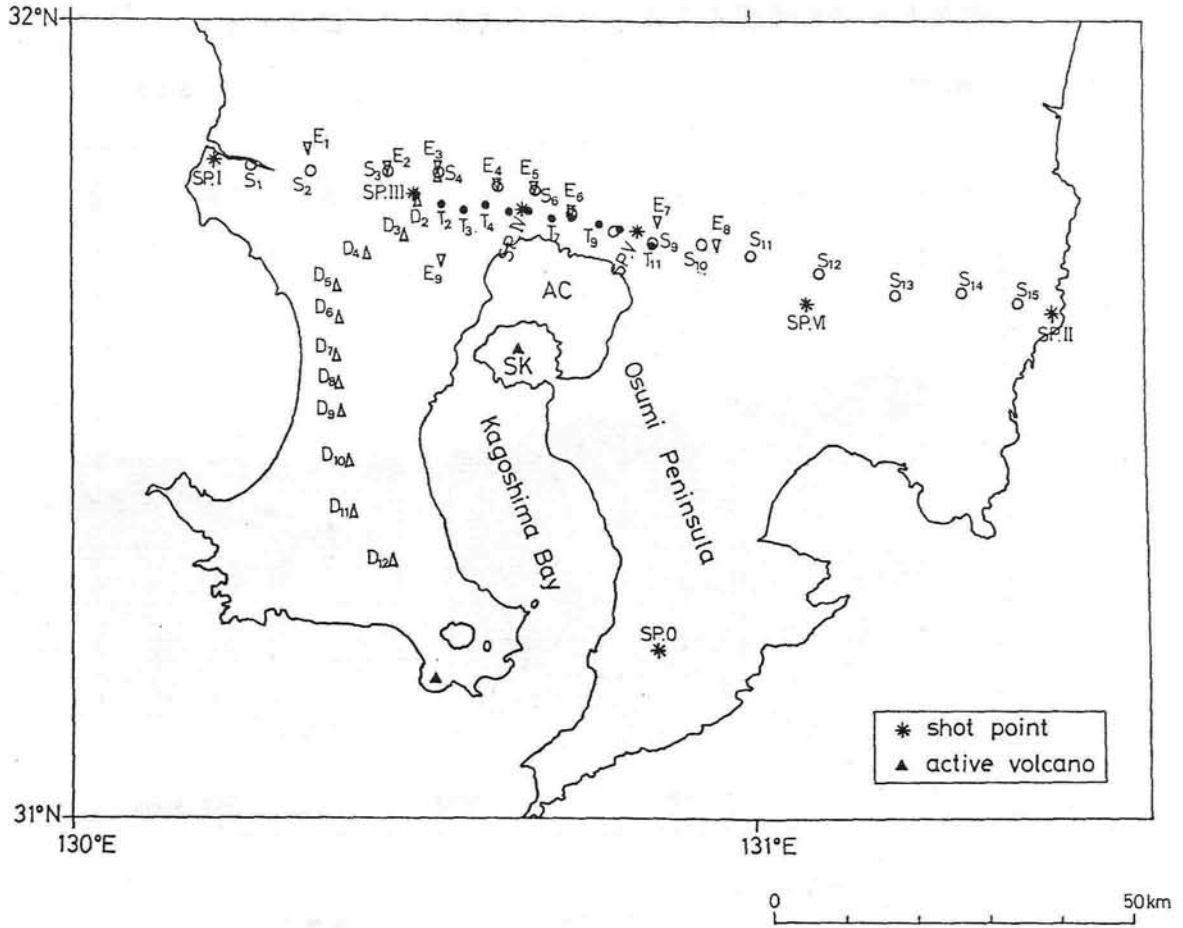


図 I - 4 - 12 九州南部における人工地震探査の測線とその結果 (Kakuta, 1982)

南海トラフを横切る24chサイスミックプロファイル

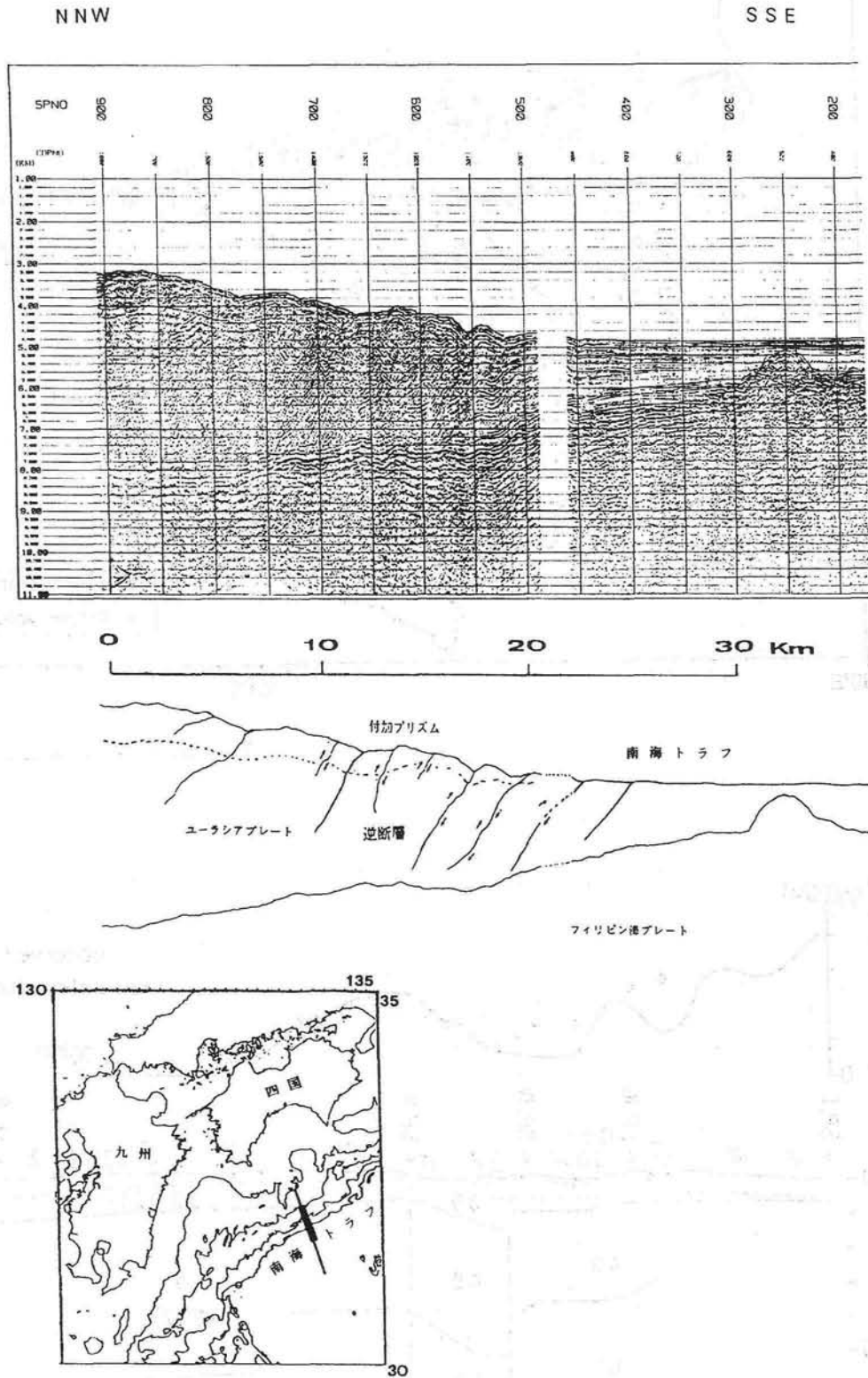


図 I - 4 - 13 フィリピン海プレートは南海トラフからユーラシアプレート下に沈み込む。四国海盆及び南海トラフ底の堆積物は陸側に押しつけられる。その過程を繰り返し、付加プリズムが形成される（海上保安庁水路部による）。

南西諸島海溝を横切る 24ch サイスマックプロファイル

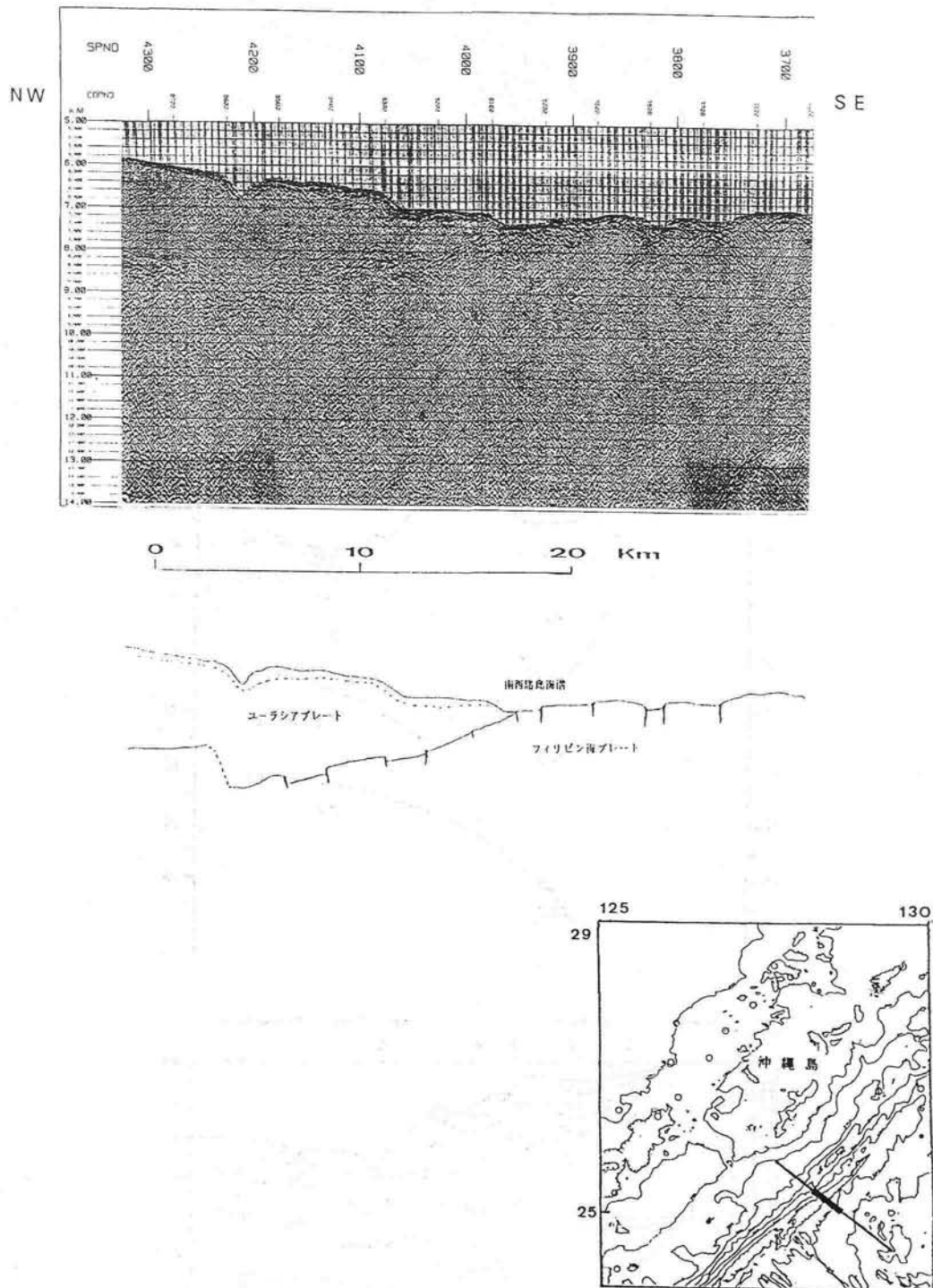


図 I-4-14 フィリピン海プレートは南西諸島海溝からユーラシアプレート下に沈み込む。
 フィリピン海プレートの音響基盤は、ユーラシアプレート下では起伏が激しくなっている
 (海上保安庁水路部による)。

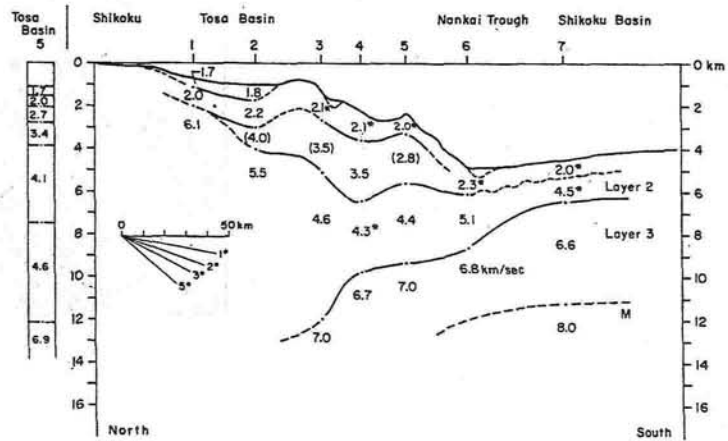
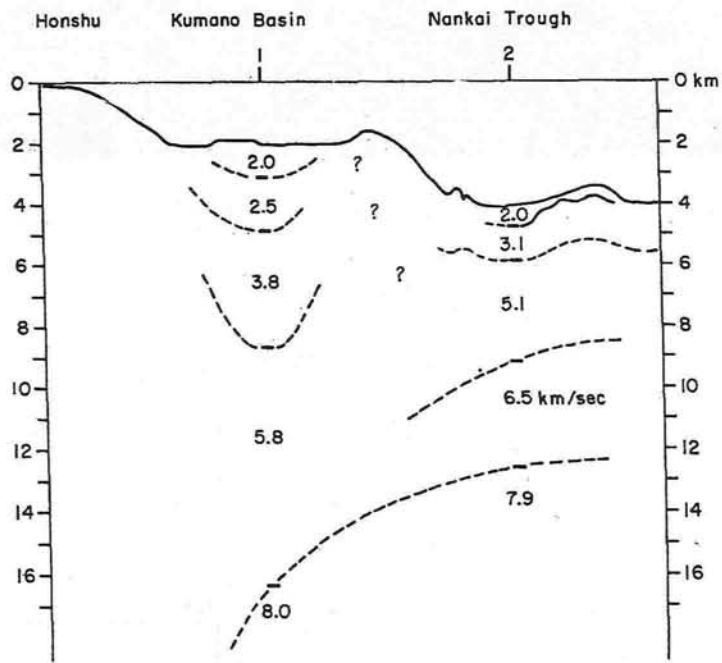
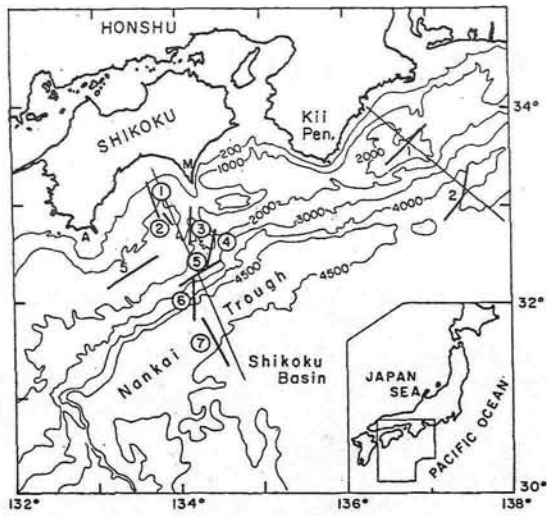


図 I - 4 - 15 熊野灘・四国沖の地下構造 (Yoshii et al., 1973)

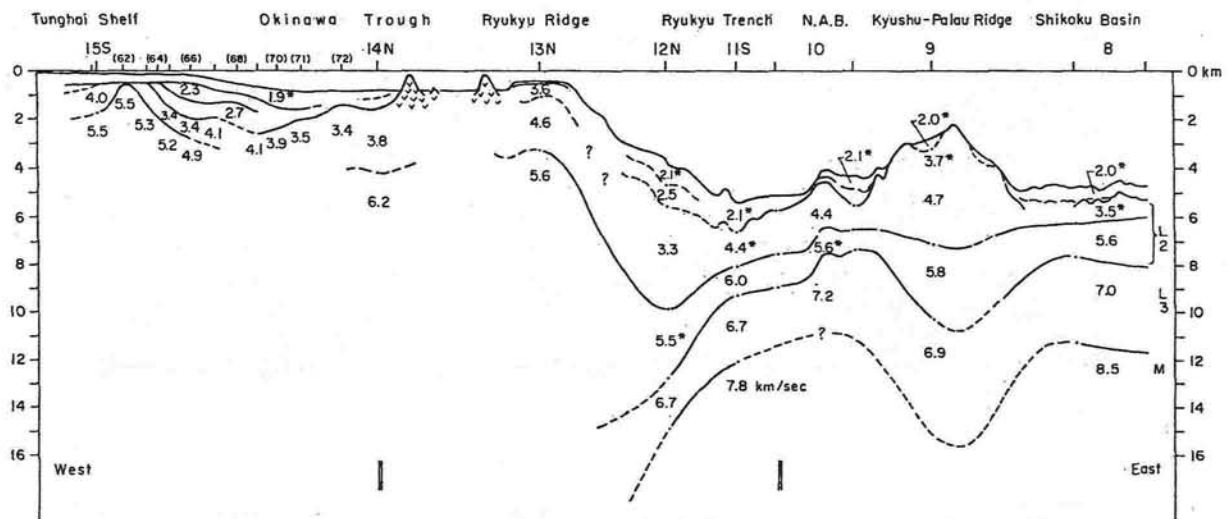
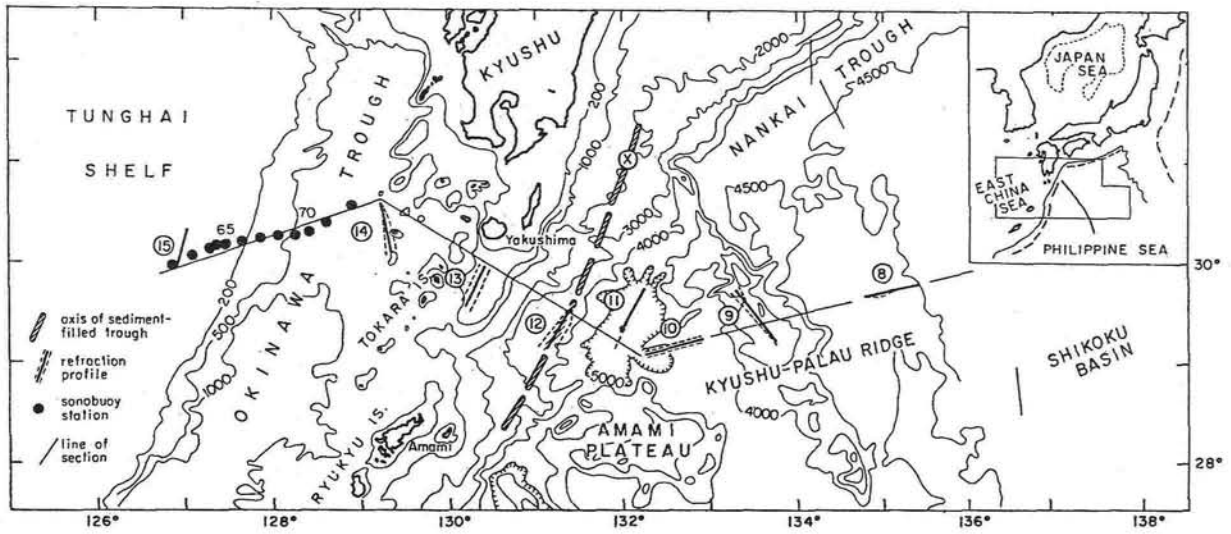


図 I - 4 - 16 北琉球の地殻構造 (Ludig et al., 1973)

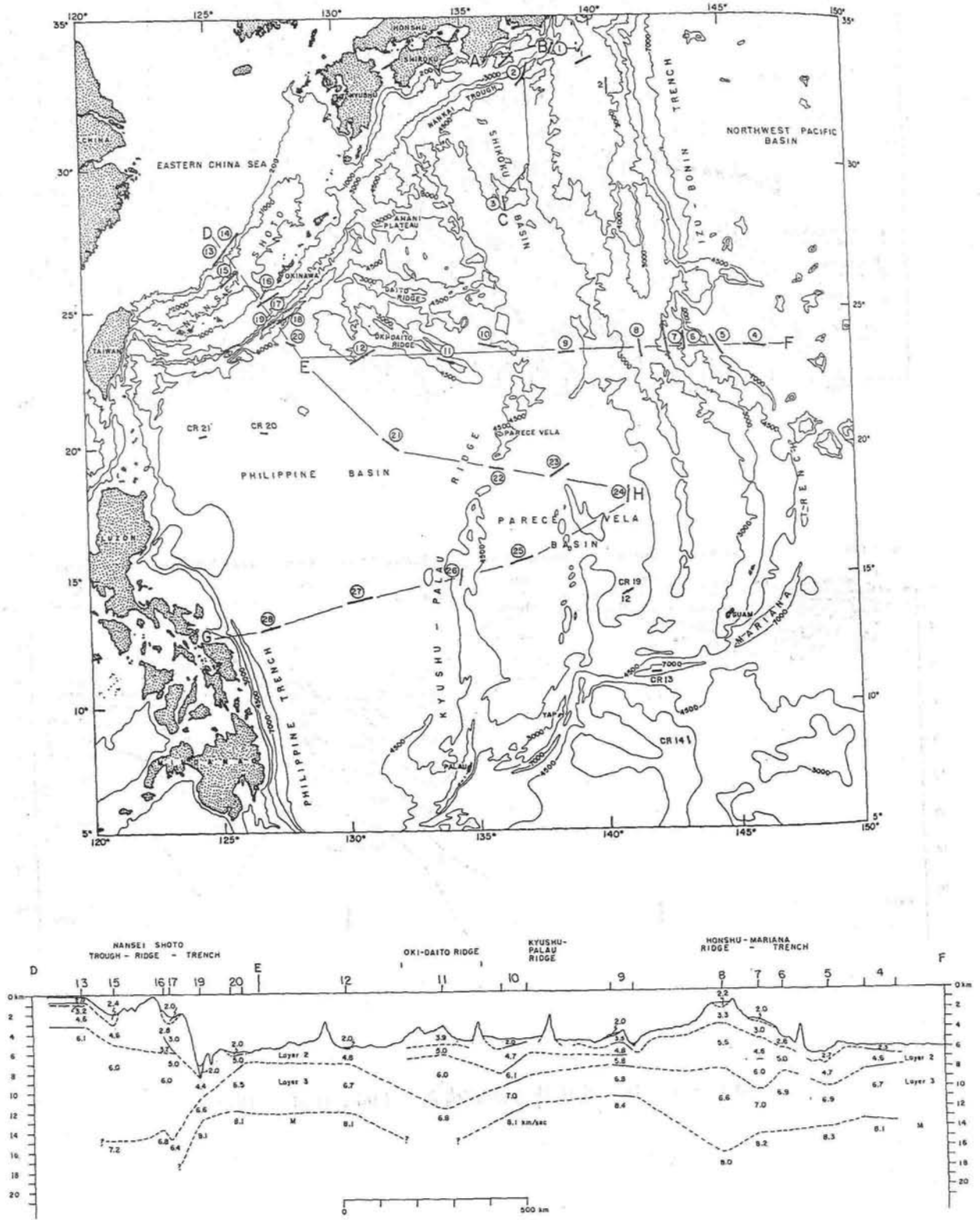


図 I - 4 - 17 中琉球の地殻構造 (Murauchi et al., 1968)

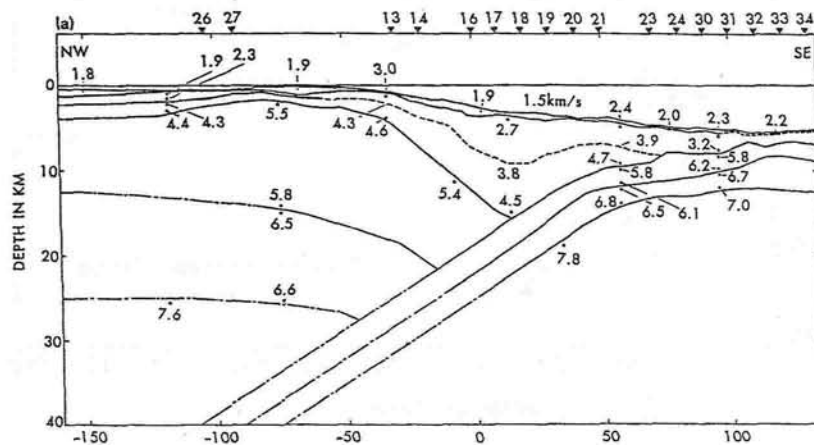
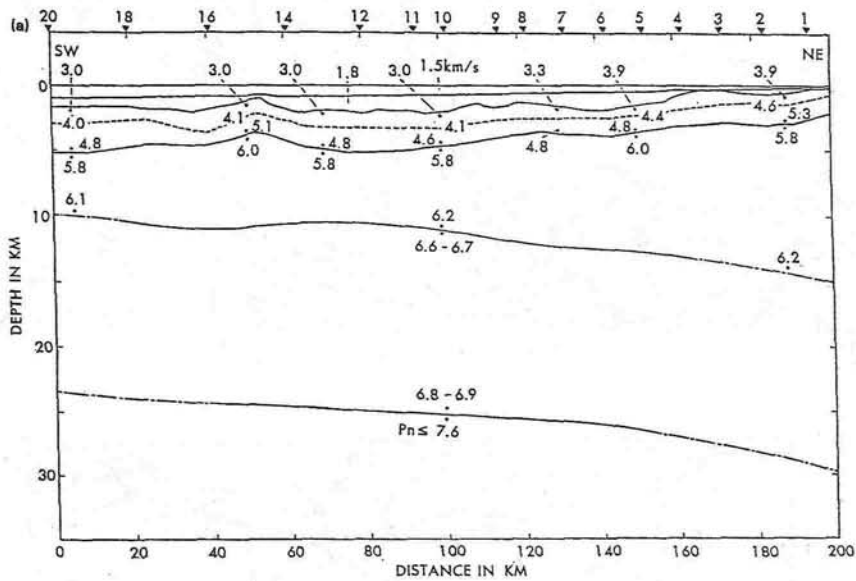
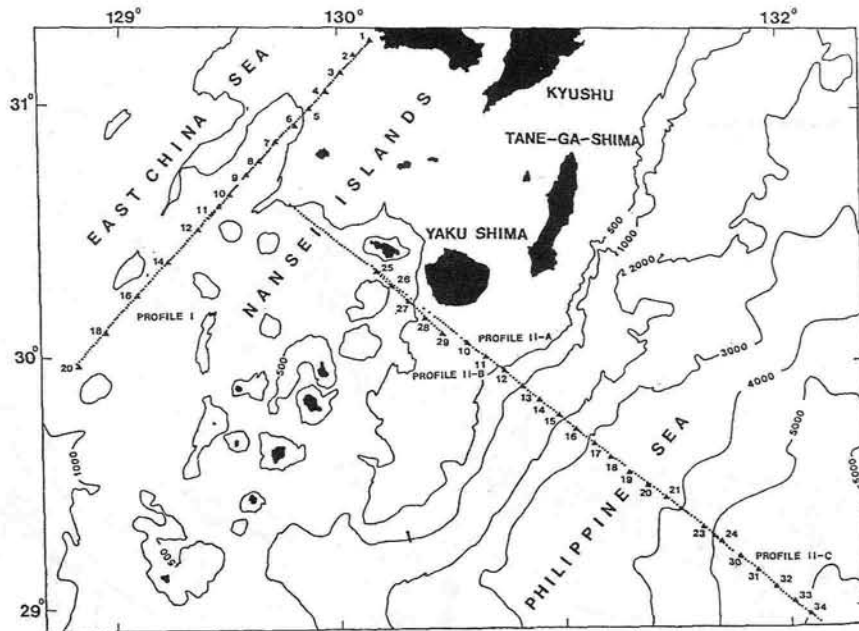


図 I - 4 - 18 北琉球の地殻構造 (Iwasaki et al., 1990)

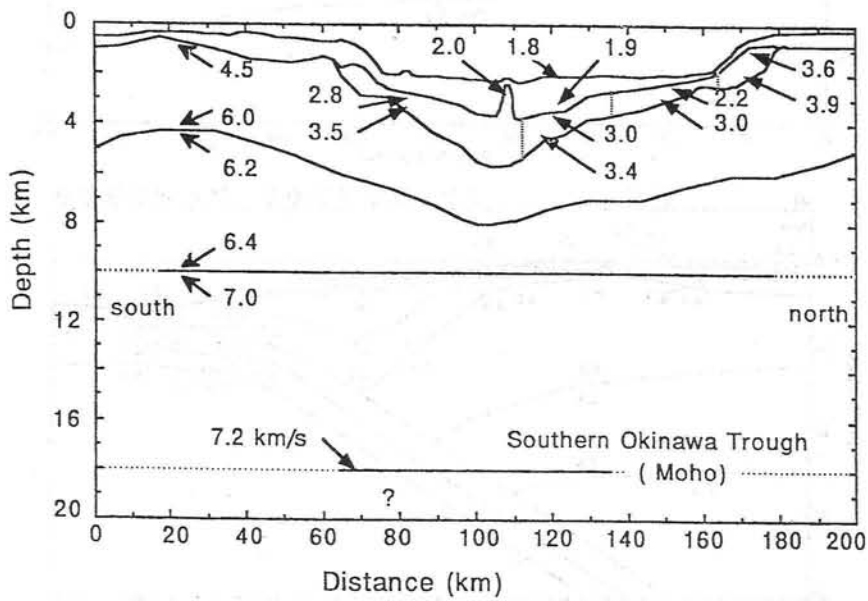
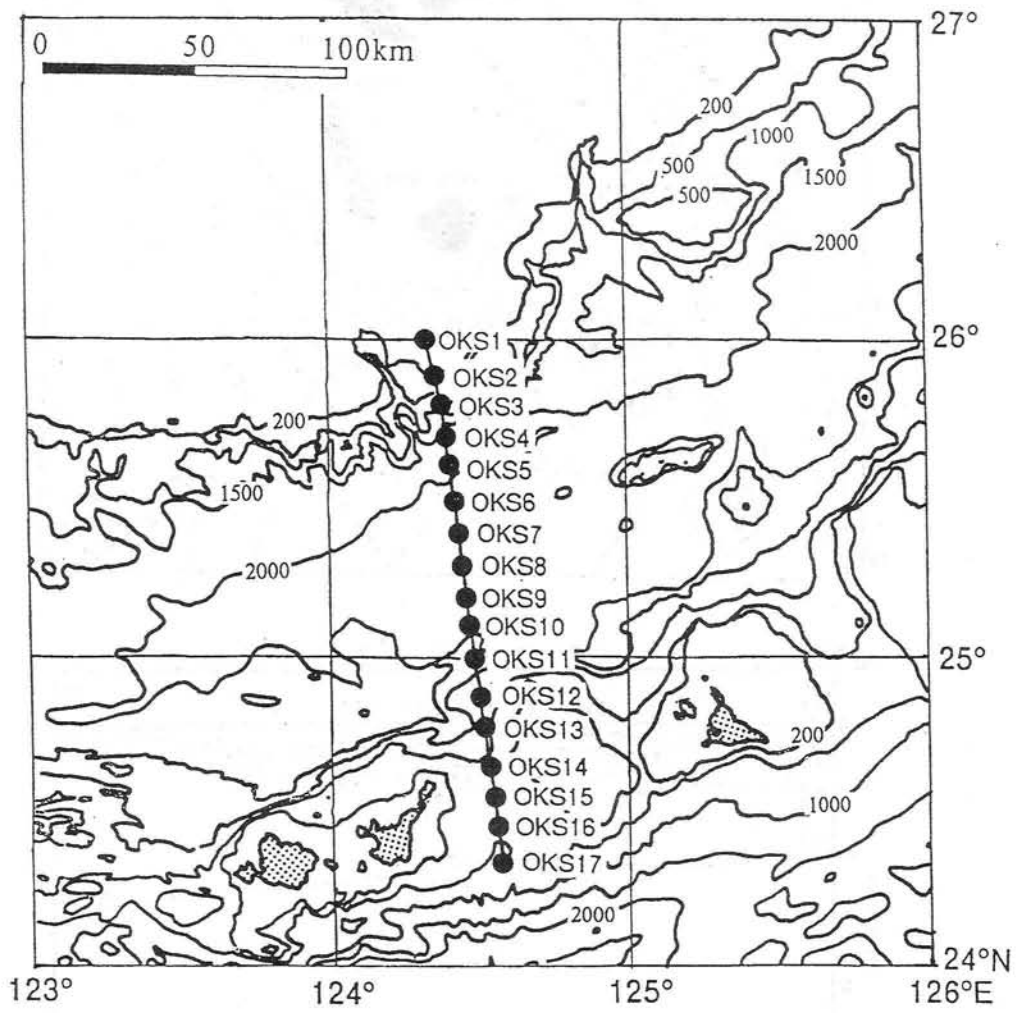


図 I - 4 - 19 南琉球の地殻構造 (Hirata et al., 1991)

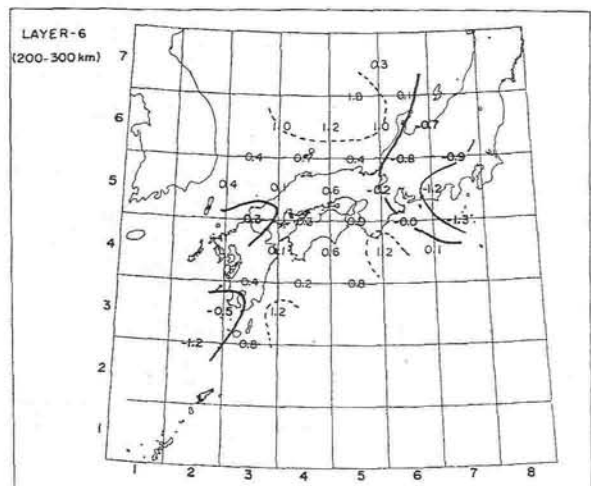
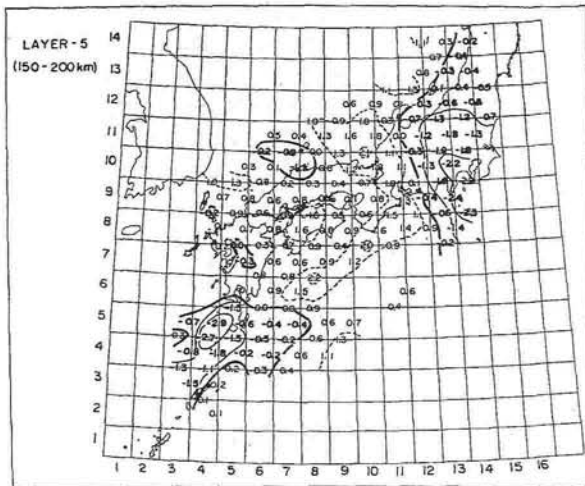
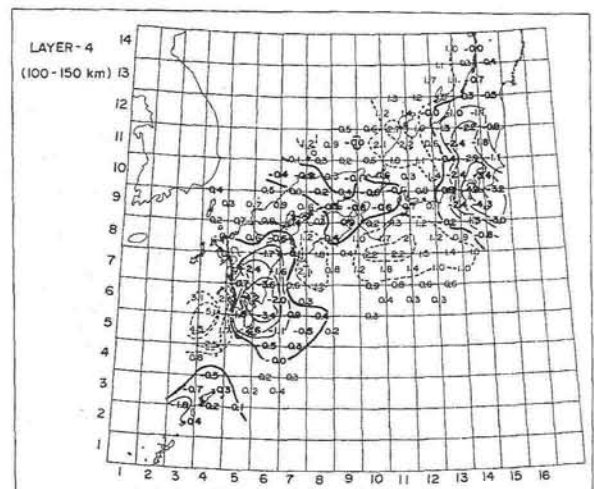
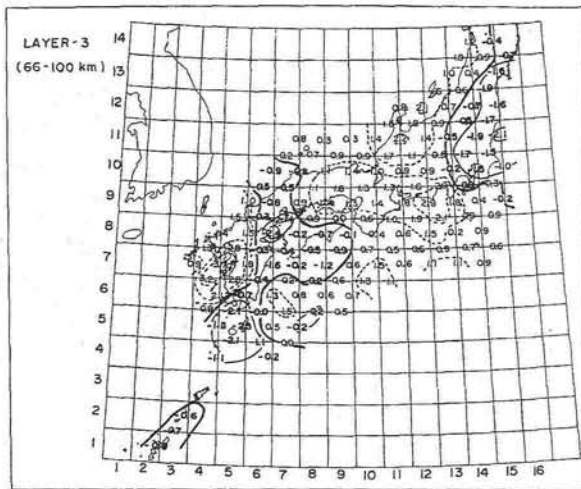
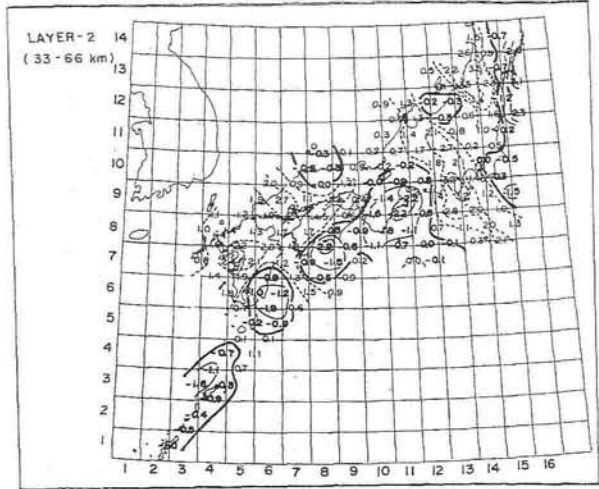
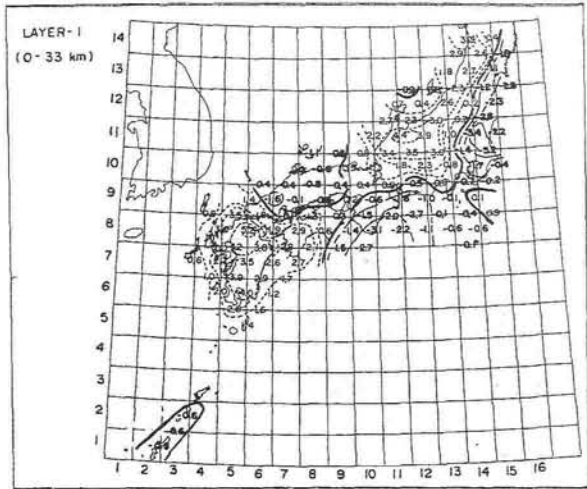
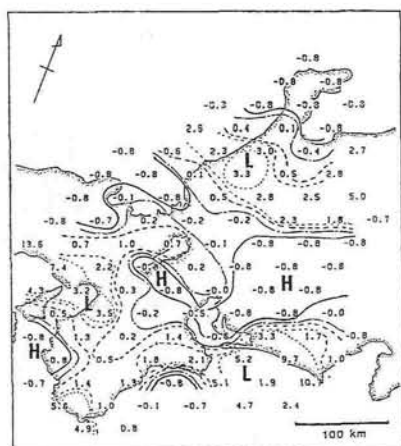
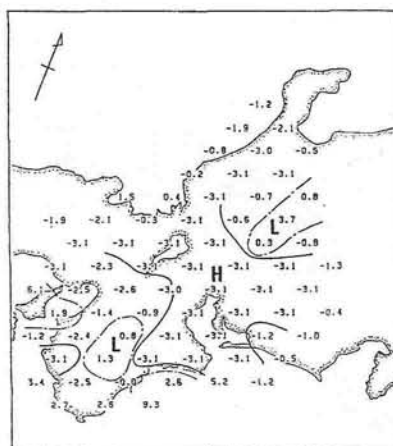


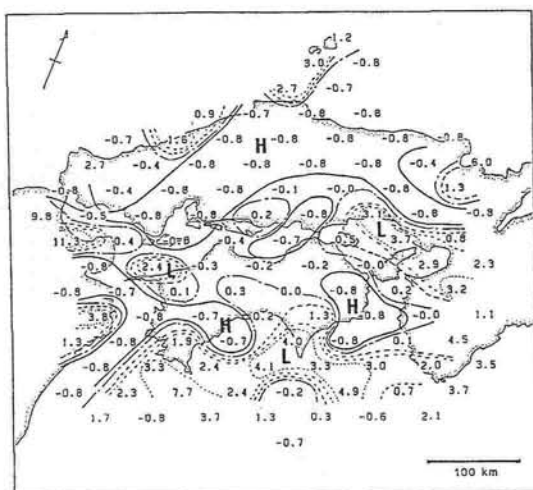
図 I - 4 - 20 速度構造のインバージョンによる不均質な速度構造 (Hirahara, 1981)



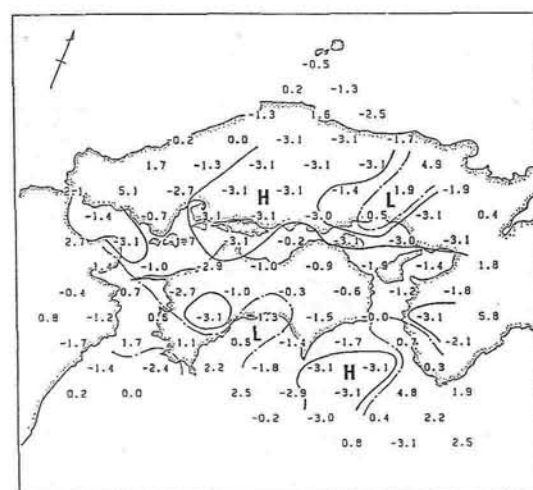
LAYER 1 (0 - 30 km)



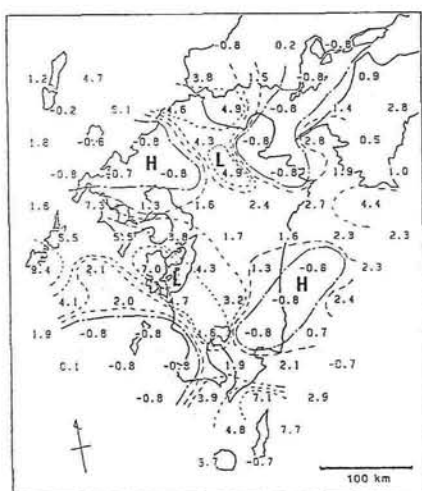
LAYER 2 (30 - 60 km)



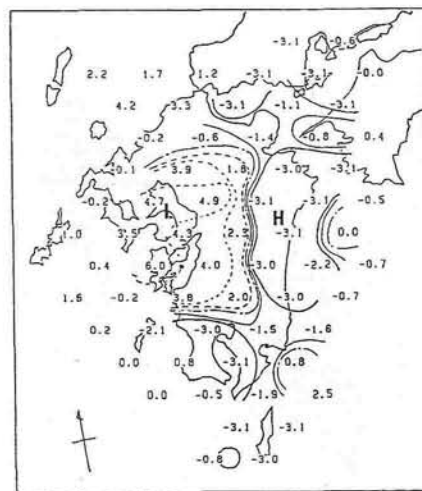
LAYER 1 (0 - 30 km)



LAYER 2 (30 - 60 km)



LAYER 1 (0 - 30 km)



LAYER 2 (30 - 60 km)

図 I - 4 - 21 地震の震度のインバージョンによって求めた Q 構造の地域的变化 (Hashida, 1987)

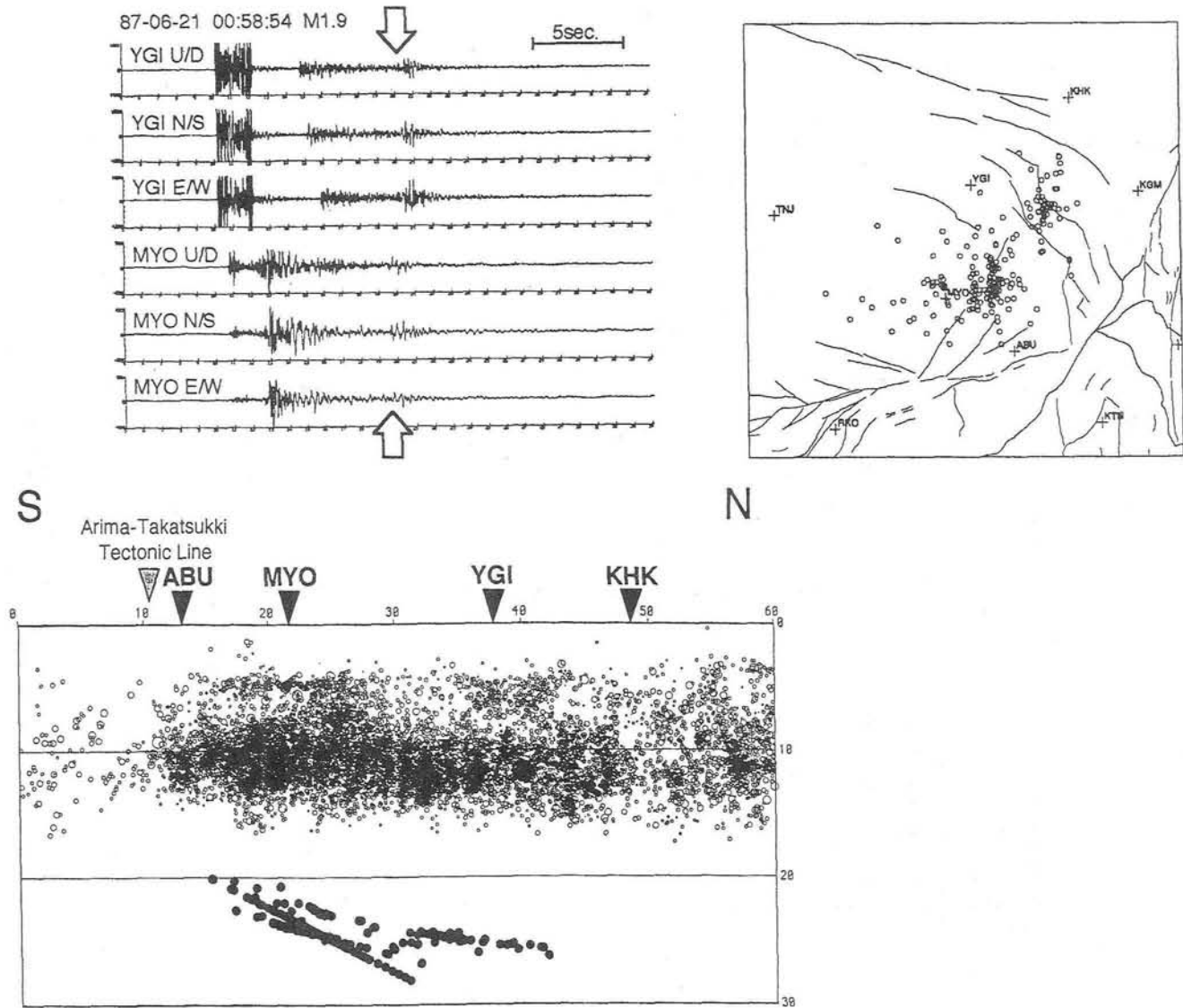


図 I - 4 - 22 近畿中部（阿武山観測所付近）における地殻中部からの顕著な反射波とその反射点および南北断面。
断面図には地震の深さの分布が同時に示されている（片尾，1993）。

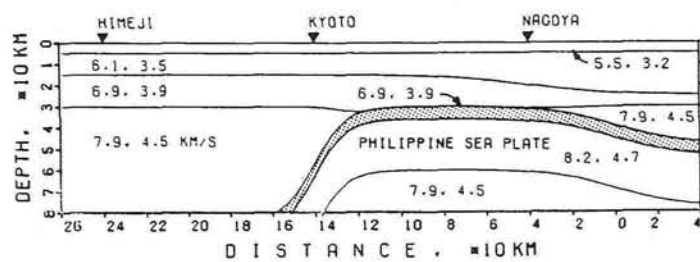
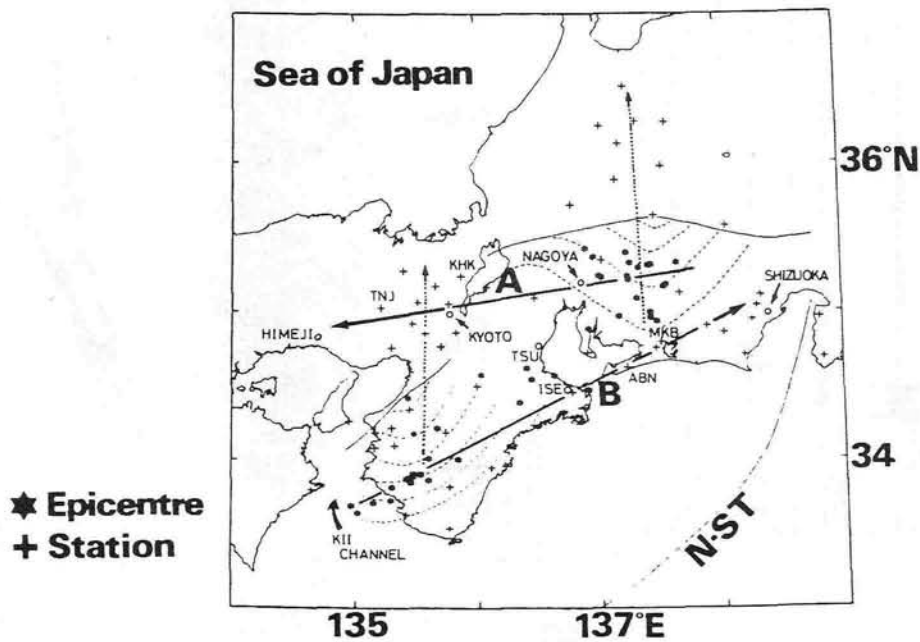
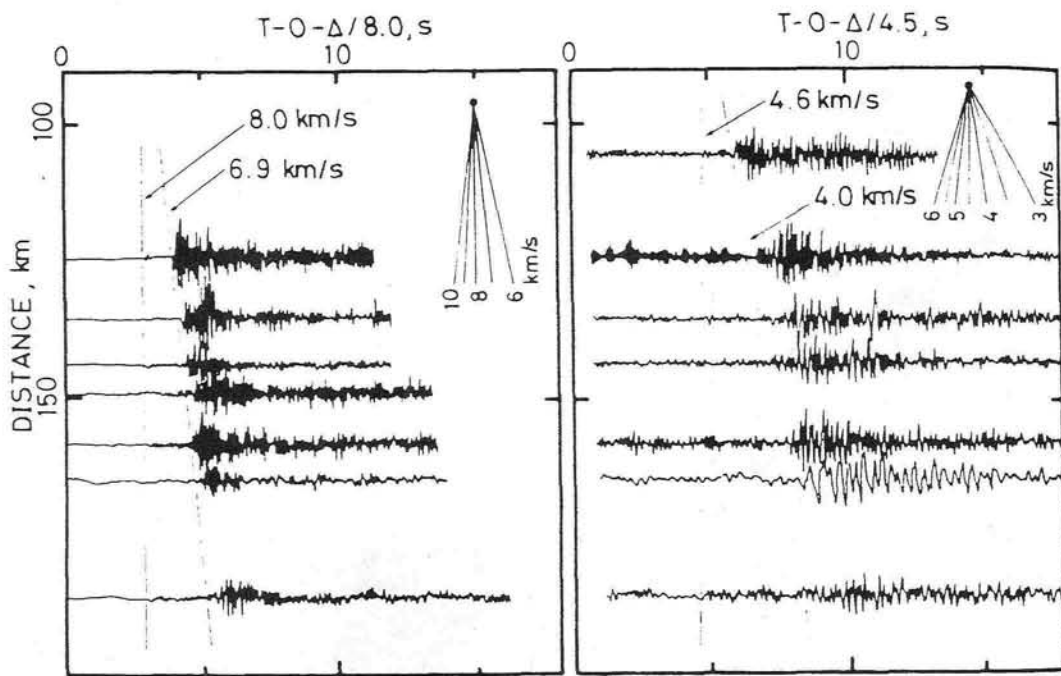


図 I-4-23 マントル最上部に発生する地震に見られる顕著な相とこの相を用いて推定した地殻構造 (Hori et al., 1985)。

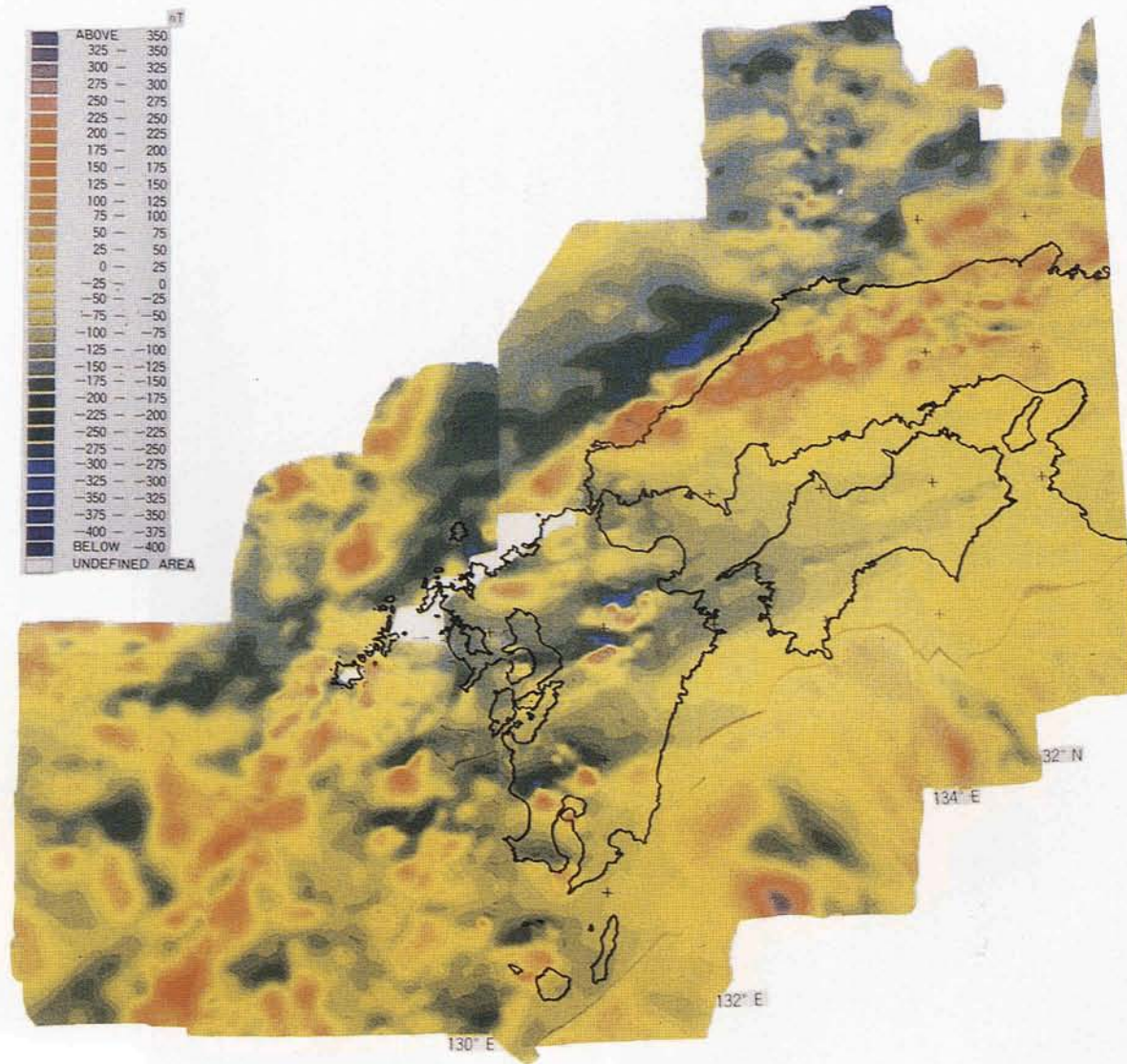


図 I - 4 - 24 航空磁気測量などによる磁気異常図。暖色系は正の異常，寒色系は負の異常を表す (Honkura et al., 1991)。



図 I - 4 - 25 地磁気異常陰影図 (牧野雅彦による)。

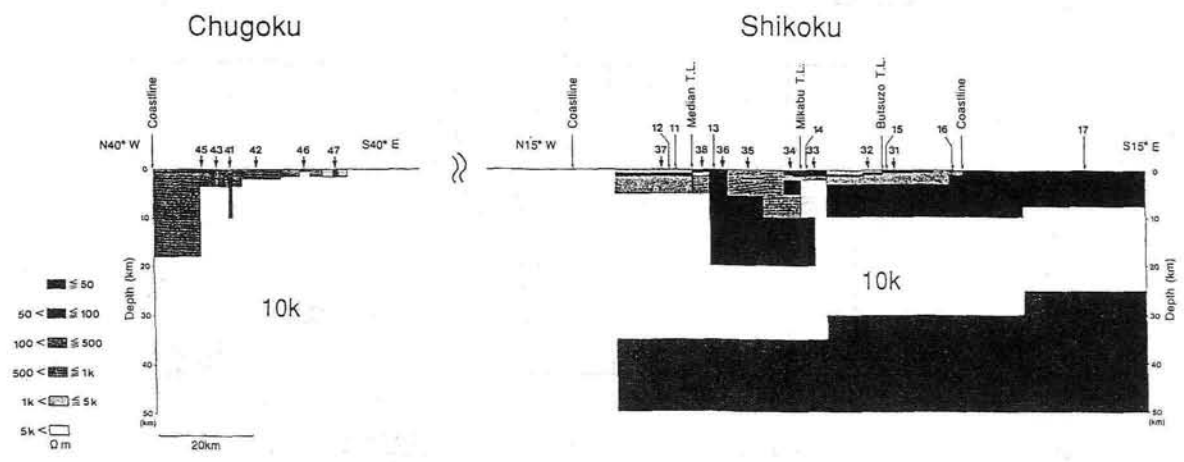
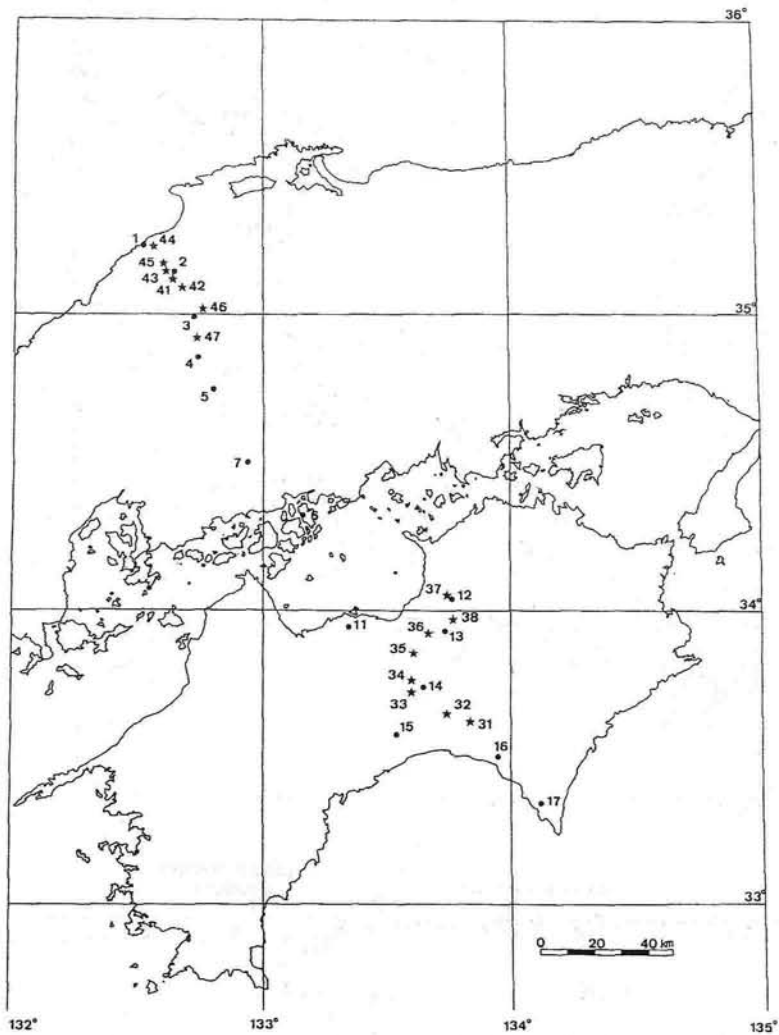
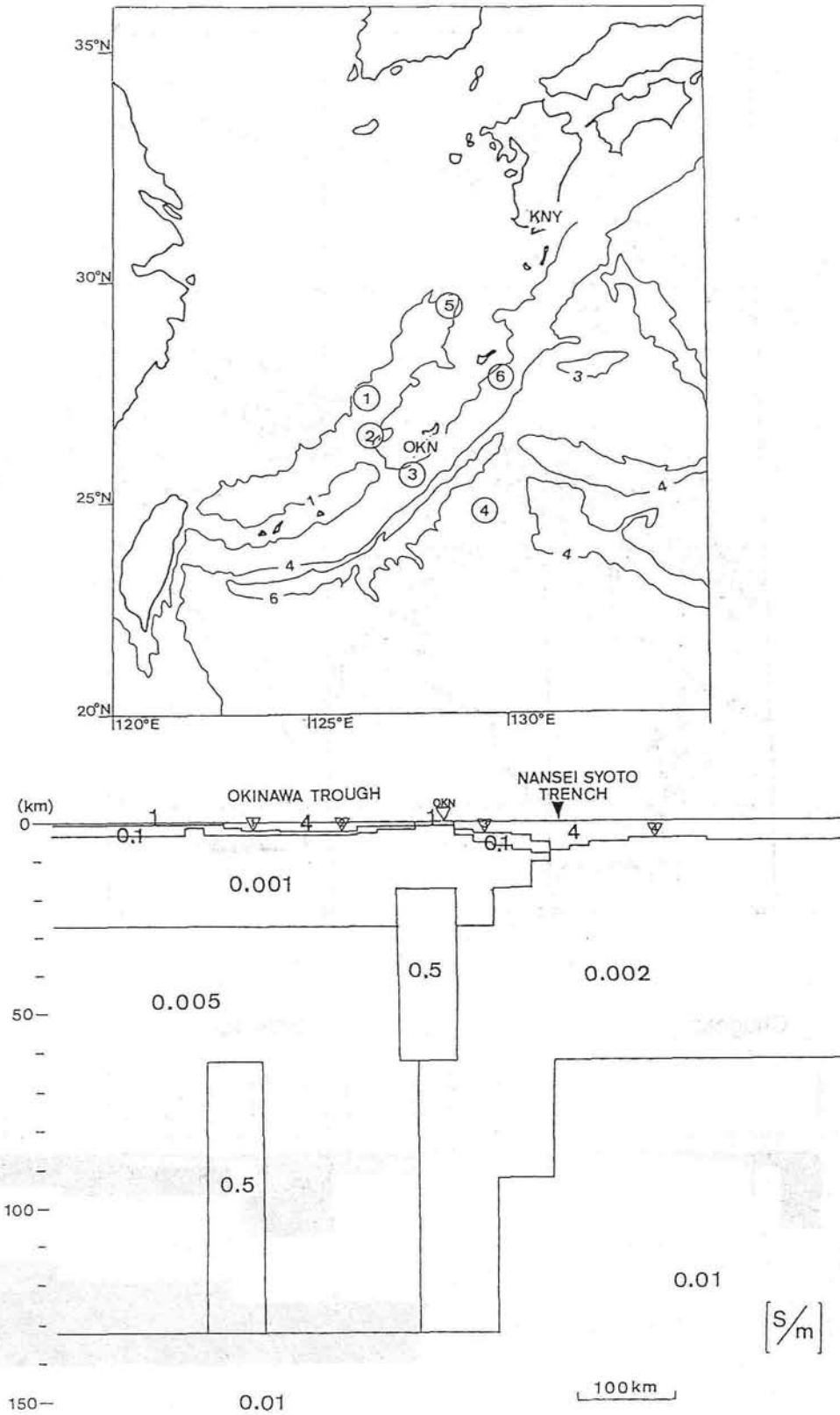


図 I - 4 - 26 中国，四国地方における比抵抗観測点の分布，及び測線方向にとった 2 次元比抵抗構造断面（塩崎一郎による）。



I-4-27 フィリピン海プレートから琉球弧及び沖縄トラフにいたる電氣的構造探査のための海底地磁気変化観測点の分布、及び OKN（沖縄）を通る測線に対する 2 次元電気伝導度構造断面。数値は電気伝導度（単位は S/m）を表す (Shimakawa and Honkura, 1991)。