

3. 2. 4 陸域活構造調査

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
 - 1) 平成25年度
 - 2) 平成26年度
 - 3) 平成27年度
 - 4) 平成28年度
 - 5) 平成29年度
 - 6) 平成30年度
 - 7) 平成31年度
 - 8) 平成32年度
- (e) 平成28年度業務目的

(2) 平成28年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成29年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

2.4 陸域活構造調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	助教	石山 達也
	教授	佐藤 比呂志
	特任研究員	加藤 直子
首都大学東京都市環境学部	教授	鈴木 毅彦
信州大学教育学部	教授	廣内 大助
地域地盤環境研究所	研究員	越後 智雄
岡山大学大学院教育学研究科	准教授	松多 信尚
法政大学人間環境学部	講師	杉戸 信彦
岩手大学理工学部	教授	越谷 信
愛知教育大学	教授	戸田 茂
新潟大学理学部	教授	豊島 剛志
	講師	小林 健太

(c) 業務の目的

陸域の変動地形学的調査と地下構造調査を組み合わせ、沿岸域の震源断層モデルの高度化に資する資料を得る。

(d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成25年度：

飛騨山脈北縁から能登半島北方海域で実施される海陸統合測線および沿岸調査海域周辺である富山平野周辺の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形および浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行った。

2) 平成26年度：

平成25年度・平成26年度の海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺である砺波平野周辺の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形および浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行った。

3) 平成27年度：

海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺である福井平野周辺の主要活構造について、変動地

形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形及び浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行った。

4) 平成 28 年度：

平成 27 年度・平成 28 年度実施の海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部である北陸・山陰沿岸地域の主要活構造について、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、金沢平野周辺において変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、変動地形・構造地質学的な解析を行った。

5) 平成 29 年度：

平成 29 年度実施の海陸統合測線および沿岸調査海域周辺の陸域部である北海道日本海沿岸地域の主要活構造について、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、変動地形・構造地質学的な解析を行う。

6) 平成 30 年度：

引き続き海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形及び浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行う。

7) 平成 31 年度：

引き続き海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形および浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行う。

8) 平成 32 年度：

調査領域の陸域部の活構造について、前年度までの調査結果をとりまとめ、その結果を震源断層モデル構築のための基礎資料として提供する。

(e) 平成 28 年度業務目的

平成 27 年度・平成 28 年度実施の海陸統合測線および沿岸調査海域周辺の陸域部である北陸・山陰沿岸地域の主要活構造について、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、変動地形・構造地質学的な解析を行う。

(2) 平成28年度の成果

(a) 業務の要約

海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造である、金沢平野東縁に位置する森本・富樫断層帯の浅部形状を明らかにするために、高精度浅層反射法地震探査を実施し、そのイメージングを行った。

(b) 業務の成果

森本・富樫断層帯は、森本断層・野町断層・富樫断層等から構成される、全長約 26 km、北東走向、東傾斜の逆断層である^{1) 2)}。本断層帯は金沢平野の東縁部に位置し、北陸地域最大の都市である金沢市街地を通過するとされる。また平均変位速度は 1 mm/年を超え、第一級の活動度を有する活断層である。森本・富樫断層帯の過去の地震活動については、古文書などの検討から、1799 年金沢の地震 ($M6.0 \pm 1/4$)³⁾ の震源である可能性が指摘されている⁴⁾ が、地震の規模が小さいため、本断層帯の最新活動か否かは不明である¹⁾。一方、断層帯から発生する強震動を予測する上で重要な断層形状については、これまでいくつかの反射法地震探査が実施されてきたものの^{5) 6)}、探査仕様などの問題から、不明な点が多いのが現状である。そこで、森本・富樫断層帯の北部を横断し、金沢平野北部から宝達丘陵南部西斜面にかけての測線（二日市測線）において、浅部の高分解能反射法地震探査を実施した（図 1 および 2）。測線は石川県金沢市才田町地内から同二日市町を経て同俵原町に至る 8.85 km 区間である。本探査では独立型収録器 GSR-1 および GSX-3（OYO Geospace 社製）を用いた、10 m 間隔の受振点展開と中型バイブレーター EnviroVib（IVI 社製）1 台による稠密発震を行い、高分解能反射法のデータを取得した（図 3、表 1）。実施期間は 2016 年 10 月 30 日～11 月 9 日である。

主なデータ取得パラメーターは以下の通りである：受振点間隔：10 m、発震点間隔（標準）：10 m、総発震点数：885 点、展開チャンネル数：885 ch、スイープ長：16 sec、スイープ周波数：8-100 Hz、地震計固有周波数：10 Hz、記録長：4 sec、サンプリング間隔：2 msec、平均垂直重合数：3 回。

また、深部低周波反射法として、約 50 m 間隔 95 点で 1 点あたり 3 回、屈折法として、1000 m 間隔 10 点で 1 点あたり 20 回、スイープ周波数 8-40 Hz の低周波発震を実施した。受振点・発震点の測量はネットワーク型 RTK-GNSS 測位（VRS 方式）及び光波測距儀による多角測量によって実施した。測線全般でノイズレベルは低く、殆どのショット記録において S/N 比の高い非常に良好な記録が得られた（図 4～9）。

この観測記録を用いて、Super-XC（（株）地球科学総合研究所製）を使用した共通反射点重合法に基づく初期的なデータ解析を行った。主な解析パラメーターは以下の通りである：AGC: 400 msec; Deconvolution gate length 2000 msec, operator length 240 msec, 予測距離 12 msec; Bandpass filter: 4/10-80/100 Hz; F-X FD Migration, 80%。

図 10～12 に暫定的な重合時間断面図、マイグレーション後時間断面図および深度断面図を示す。初期的な反射法解析の結果、地下 2.5 km までの反射断面（暫定版）が得られ、森本断層に関連すると推定される第四系の断層・褶曲構造を見出した。既往研究の結果^{7) 8) 9) 10) 11)} および空中写真判読および現地踏査などの変動地形学・地質学的な検討から森本断層が通過すると推定される地点付近では、第四系および新第三系¹²⁾ に対応すると考えられる反射面群が西に向かって急傾斜するとともに、東に傾く反射面の不連続が認められ、東に傾斜する逆断層が存在すると推定される（図 13）。今後は、さらに反射法および屈折トモグラフィの解析を進めるとともに、第四系および新第三系と反射面の対比や変動地形との対応を検討し、活断層の浅部地質構造について詳細な解析を進める予定である。

なお、反射法地震探査の実施に際しては、石川県庁・金沢市役所の関係部署ならびに測線周辺の住民各位の多大なご協力を賜った。ここに記して感謝します。

(c) 結論ならびに今後の課題

海陸統合測線および沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造である金沢平野周辺の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、高分解能な浅層反射法地震探査を実施し、良好な記録を得るとともに、共通反射点重合法による反射法解析を行い、暫定的な地下構造断面を作成し、特に森本・富樫断層帯に対応する変形を見出した。今後はさらに解析を進め、変動地形・表層地質や重力データなどと併せて森本・富樫断層帯の浅部地質構造と活動性について詳細な解析を進める。

(d) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部，森本・富樫断層帯の長期評価について，2013.
- 2) 活断層研究会編：「新編日本の活断層－分布図と資料－」，東京大学出版会，437p., 1991.
- 3) 宇佐美龍夫・石井 寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子，「日本被害地震総覧 599-2012」，東京大学出版会，694p., 2013.
- 4) 寒川 旭：寛政 11 年（1799 年）金沢地震による被害と活断層．地震，第 2 輯，39，653-663, 1986.
- 5) 石川県：「平成 8 年度地震調査研究交付金 森本断層系に関する調査成果報告書」，165p, 1997.
- 6) 産業技術総合研究所：森本・富樫断層帯の活動性および活動履歴調査「活断層の追加・補完調査」成果報告書 No.H19-3. 29p., 2008.
- 7) 東郷正美：「微小地形による活断層判読」，古今書院，206p, 2000.
- 8) 東郷正美・池田安隆・今泉俊文・澤 祥・平野信一：森本－富樫断層帯の詳細位置と活動性について．活断層研究，17，72-83, 1998.
- 9) 東郷正美・池田安隆・今泉俊文・澤 祥：1:25,000 都市圏活断層図「金沢」．国土地理院技術資料，D1-No. 355, 2002.
- 10) 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編：第四紀逆断層アトラス．東京大学出版会，254p, 2002.
- 11) 中田 高・今泉俊文編：活断層デジタルマップ．東京大学出版会，2002.

12) 鹿野和彦・原山 智・山本博文・竹内 誠・宇都浩三・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久：
20 万分の 1 地質図幅「金沢」．地質調査所，1999.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
石山達也・佐藤比呂志・加藤直子・戸田 茂	高分解能浅層反射法地震探査から明らかになった森本-富樫断層の地下構造とその構造的特徴（口頭発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会	平成 29 年 5 月 23 日
加藤 直子・石山 達也・佐藤 比呂志・戸田 茂	金沢平野北東縁・森本断層を横切る反射法地震探査（ポスター発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会	平成 29 年 5 月 24 日
石山達也・佐藤比呂志・加藤直子・越谷 信・佐々木 弾・戸田 茂	1948 年福井地震震源域および福井平野東縁断層帯の高精度反射法地震探査および重力探査（口頭発表）	日本地質学会 2016 年学術大会	平成 28 年 9 月 10 日
Ishiyama, T., Sato, H., Kato, N., and Koshiya, S.	Transfer fault earthquake in compressionally reactivated back-arc failed rift: 1948 Fukui earthquake (M7.1), Japan（口頭発表）	EGU Joint Assembly 2017	平成 29 年 4 月 26 日
Ishiyama, T., Sato, H., Kato, N., Koshiya, S., Abe, S., Shiraishi, K., and Matsubara, M.	Structures and active tectonics of compressionally reactivated back-arc failed rift across the Toyama trough in the Sea of Japan, revealed by multiscale seismic profiling（論文発表）	Tectonophysics	印刷中（Web 掲載:平成 28 年 9 月 25 日）

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定
なし

(3) 平成 29 年度業務計画案

平成 29 年度実施の海陸統合測線および沿岸調査海域周辺の陸域部である北海道日本海沿岸地域の主要活構造について、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、変動地形・構造地質学的な解析を行う。

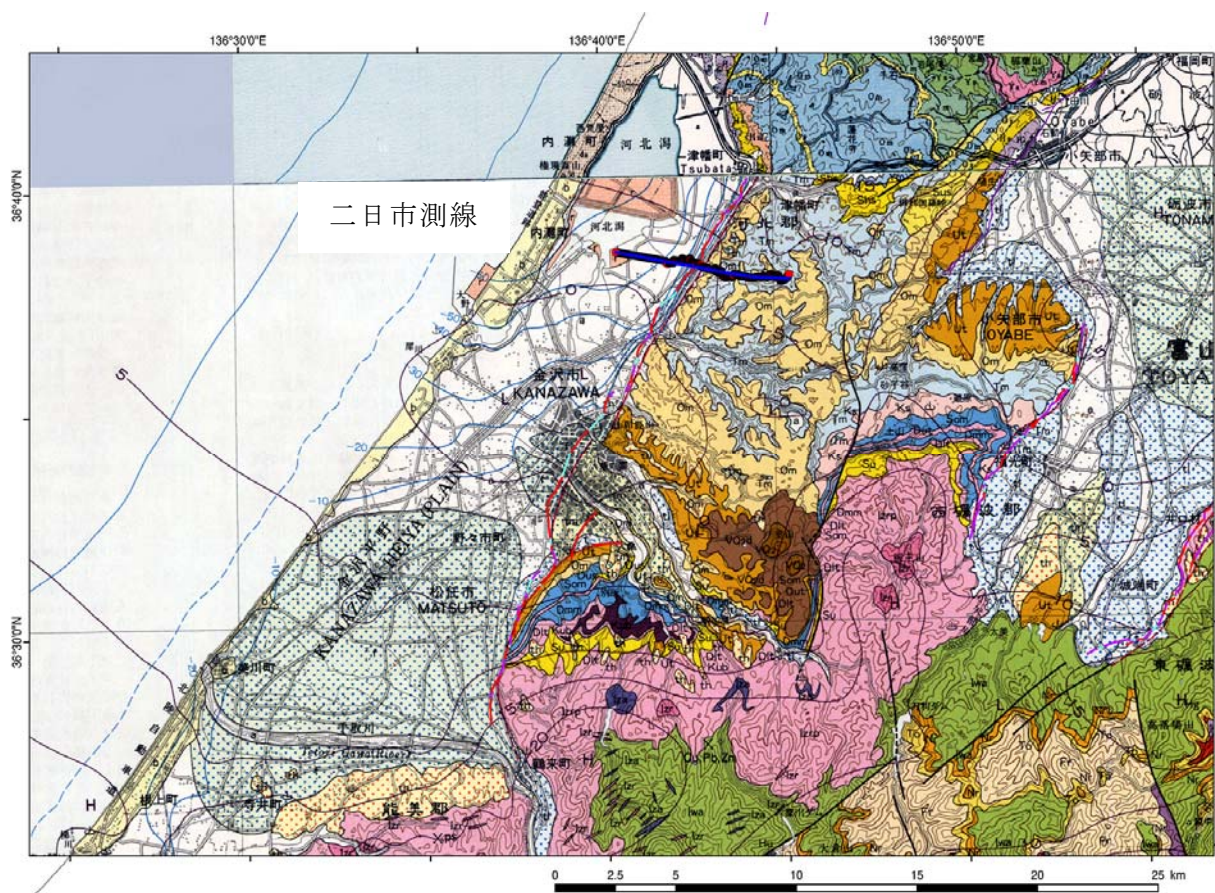


図 1 反射法地震探査・坂井測線の概略位置図。重合測線を青線で示す。背景の地質図は鹿野ほか（1999）¹²⁾ による。活断層（赤線・紫線）の位置は中田・今泉編（2002）⁷⁾ に基づく。

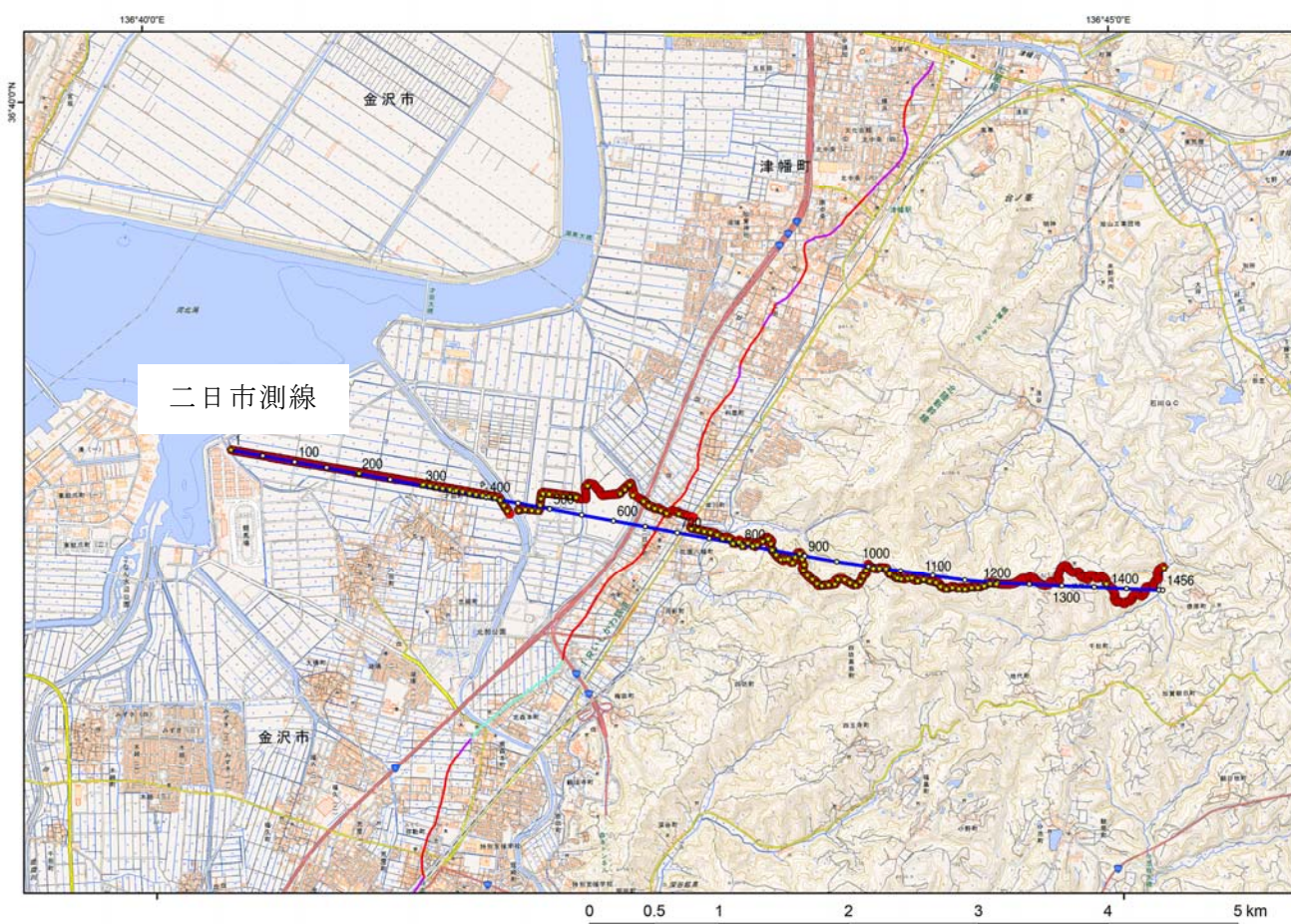


図 2 反射法地震探査・二日市測線の詳細位置図。重合測線を青線で示す。赤丸印は発震点を、星印は屈折法の集中発震点を示す。活断層の位置は中田・今泉編（2002）⁷⁾に基づく。

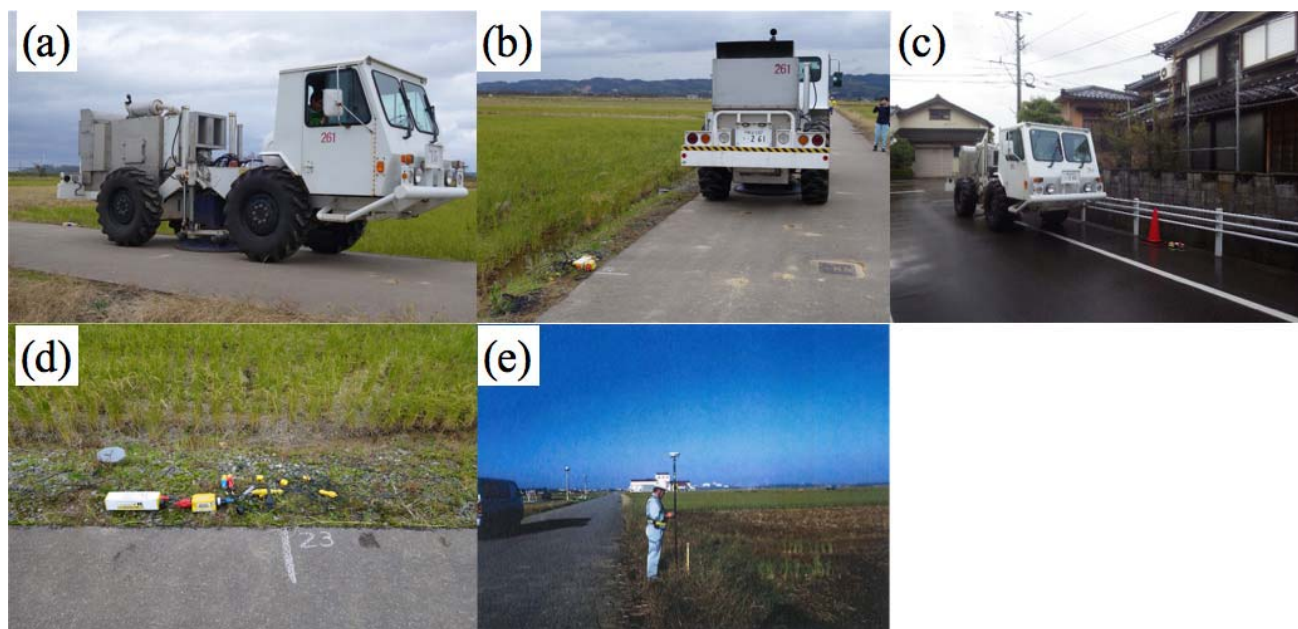


図 3 調査観測風景。(a) 中型バイブレーター型震源車 Enviro-vib、(b) VP No.1029、金沢平野での発震、(c) VP No.1378、市街地での発震、(d) 地震研所有の独立型収録器 GSX-3、(e) ネットワーク型 RTK-GNSS 測量的様子。

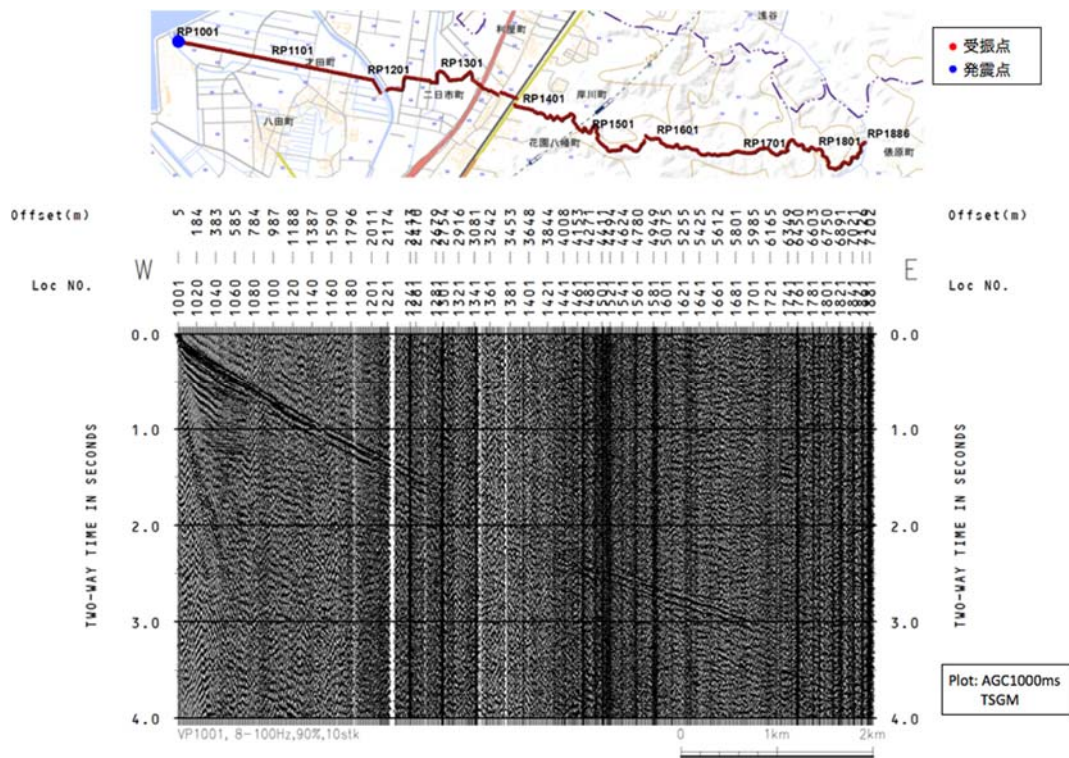


図 4 VP1001 における発震記録。

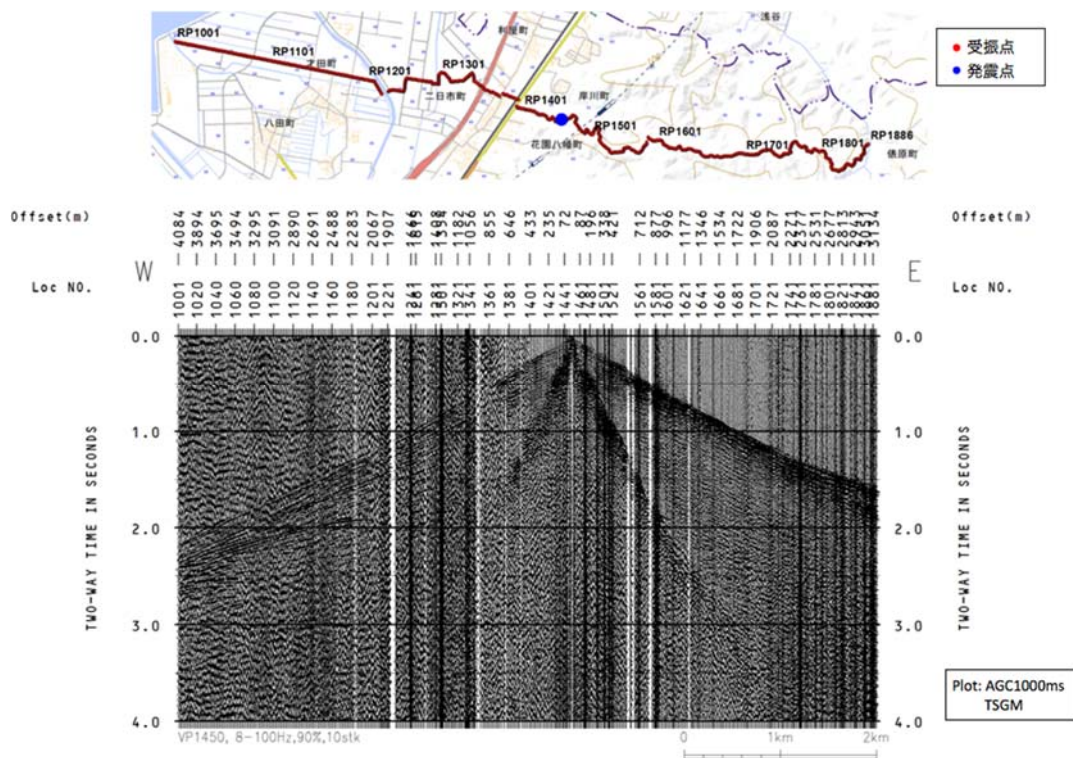


図 5 VP1450 における発震記録。

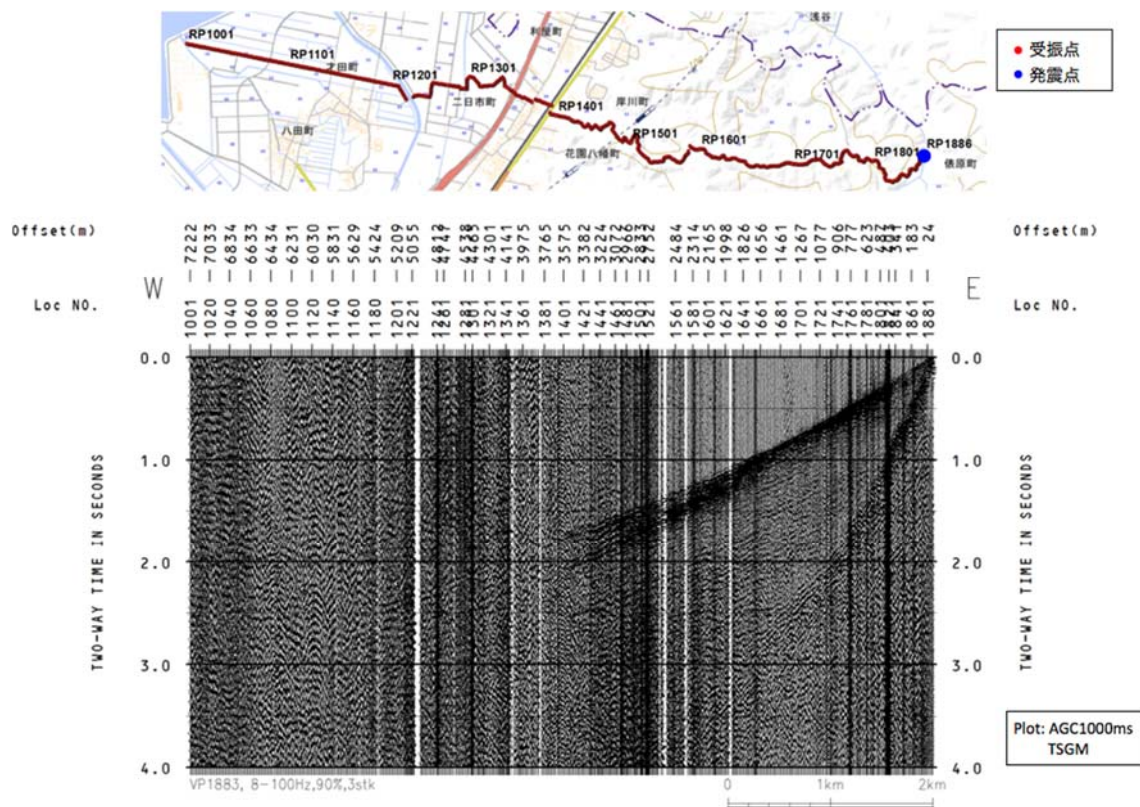


図 6 VP1883 における発震記録。

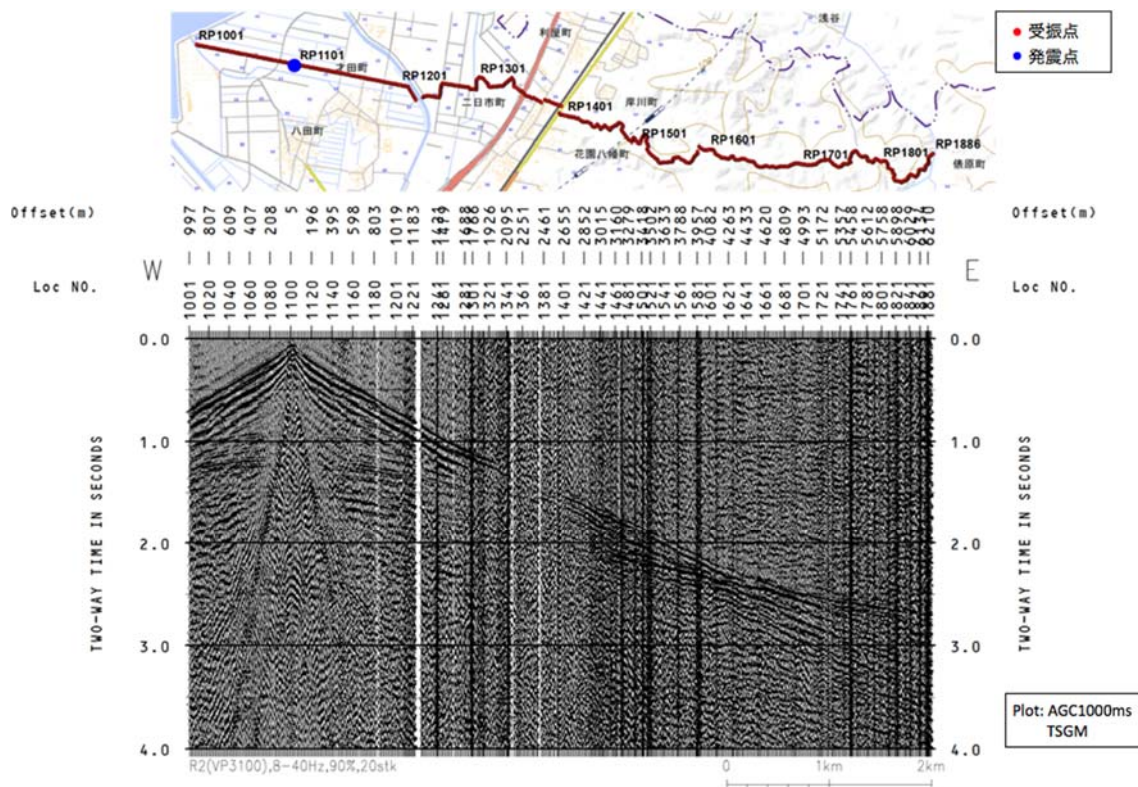


図 7 VPR2 における集中発震記録。

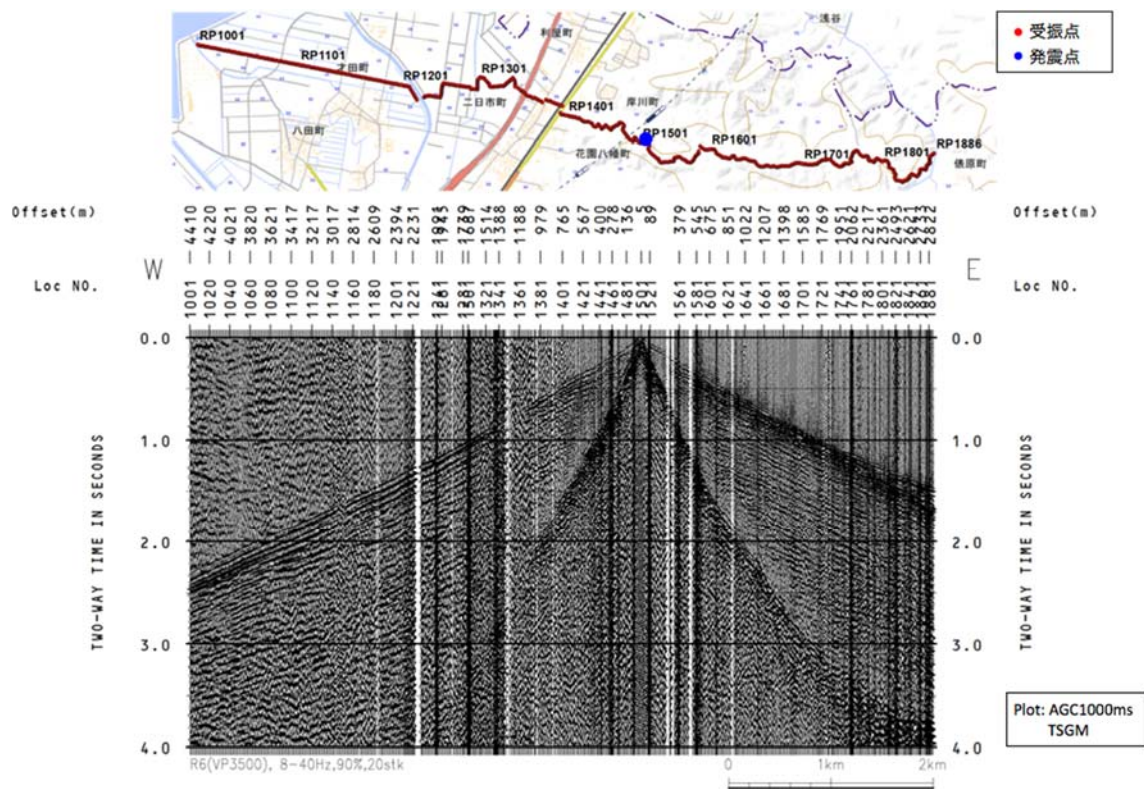


図 8 VP R6 における集中発震記録。

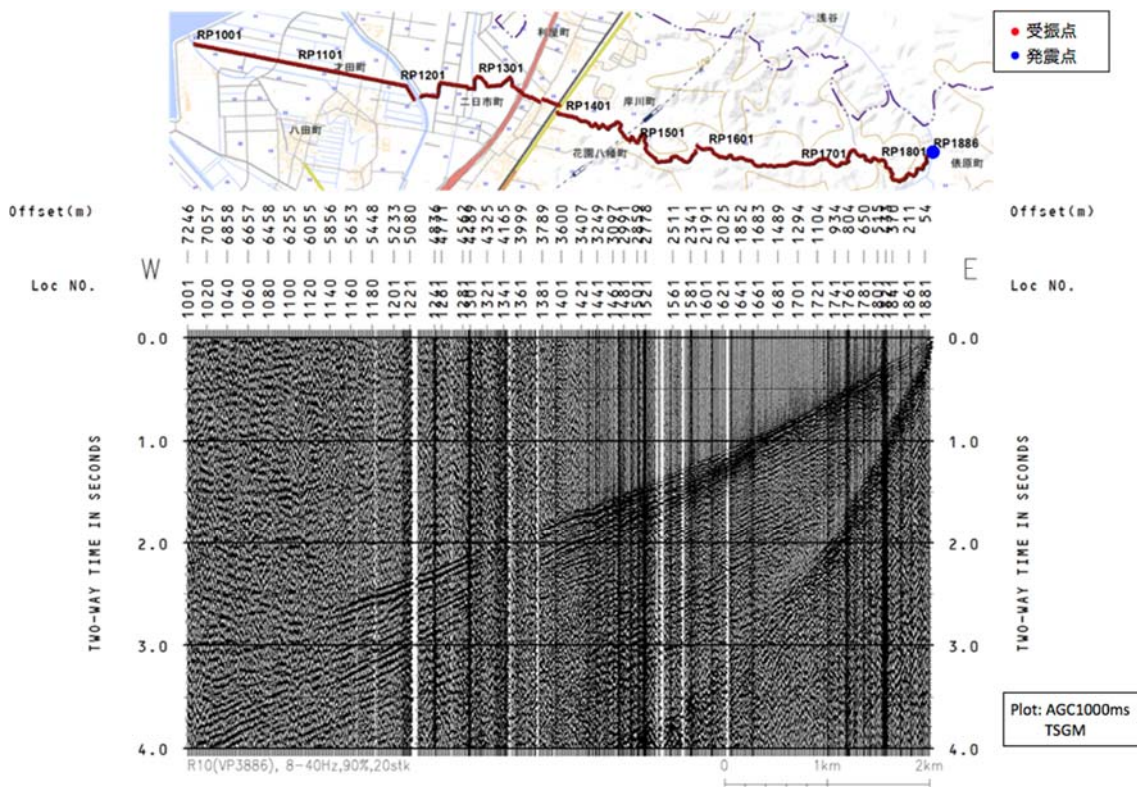


図 9 VP R10 における集中発震記録。

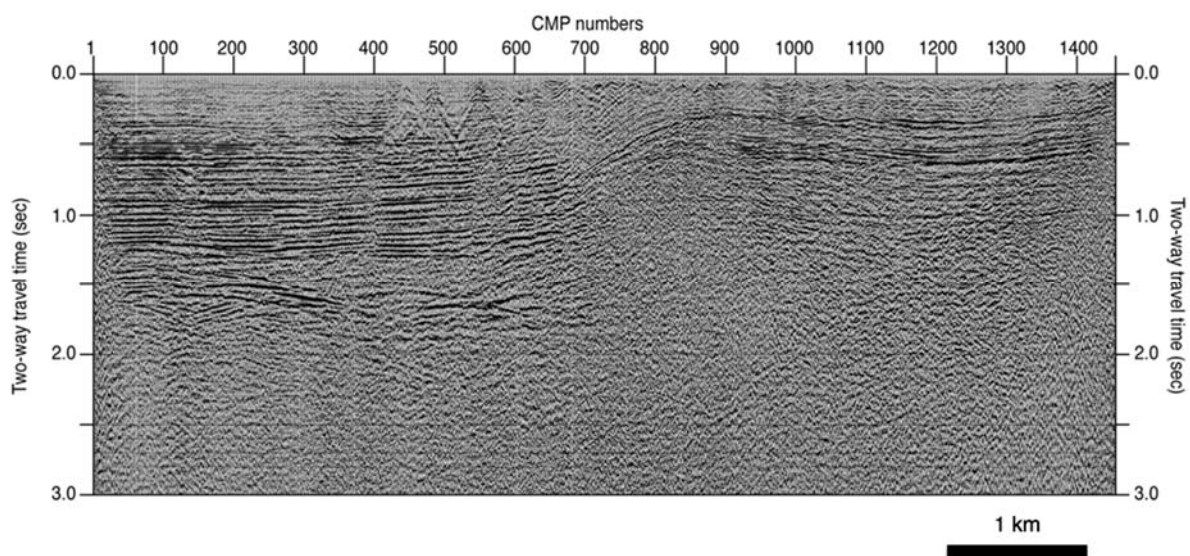


図 10 暫定的な重合時間断面図。縦スケールは往復走時（秒）。

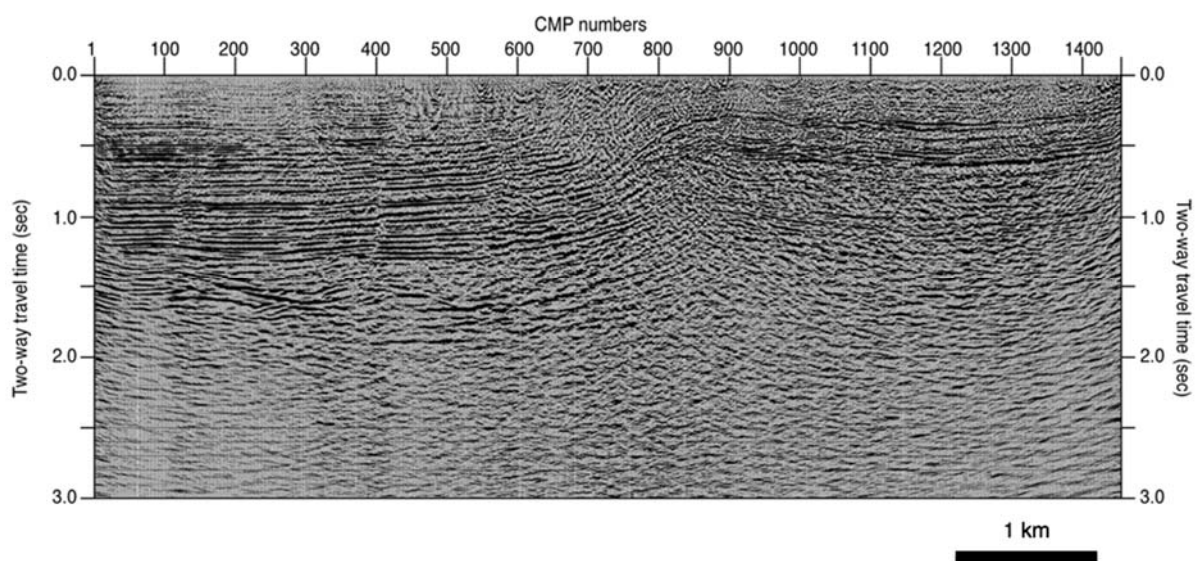


図 11 暫定的なマイグレーション後時間断面図。縦スケールは往復走時（秒）。

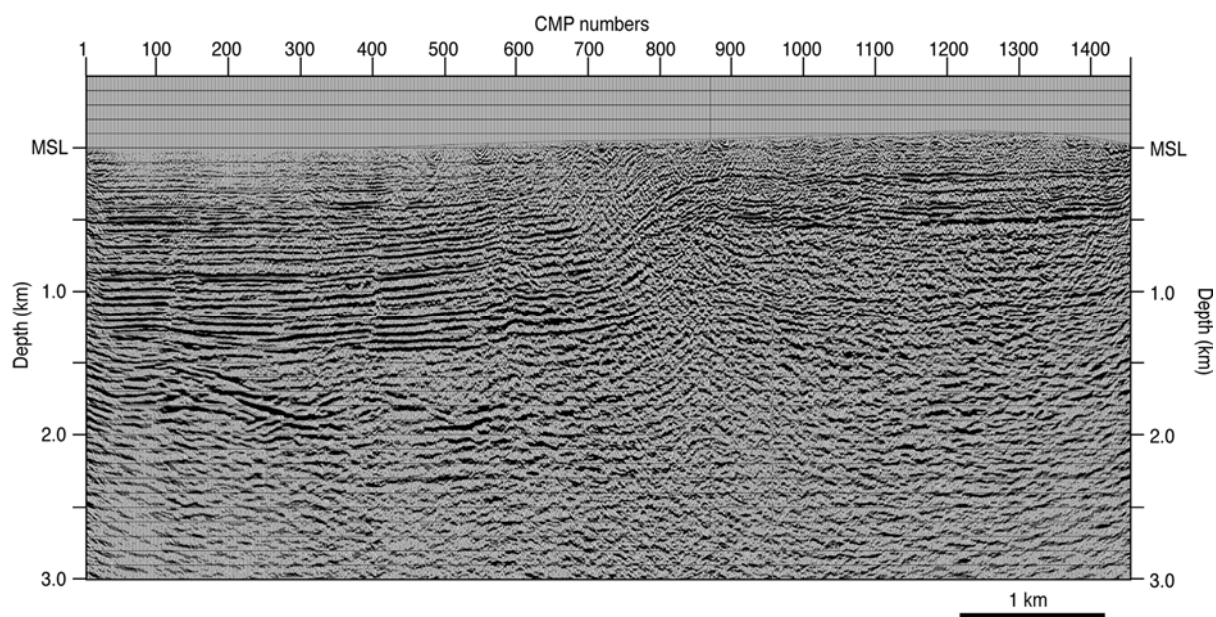


図 12 暫定的な深度断面図。縦横比は 1:1。

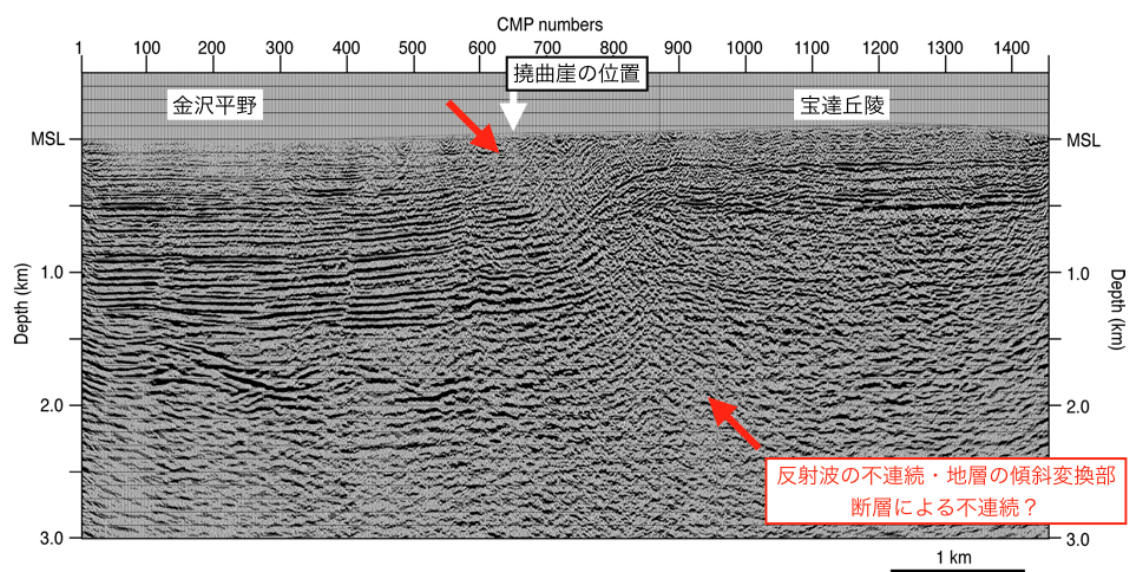


図 13 暫定的な構造解釈。縦横比は 1:1。

表 1 データ取得パラメーター一覧

調査項目/測定諸元	反射法発震	低周波反射法発震	屈折法発震
発震種別	高分解能バイブレータ発震	低周波バイブレータ発震	高エネルギーバイブレータ発震
測線長	8.85 km	8.85 km	8.85 km
調査測線位置概要	受振器展開は全区間。測線上に標準10m間隔で受振点及び発震点を設定	受振器展開は全区間。測線上に標準10m間隔で受振点、標準50m間隔で発震点を設定	受振器展開は全区間。測線上に標準10m間隔で受振点、標準1000m間隔で発震点を設定
発震系パラメータ			
震源	中型バイブレータ (EnviroVib)	中型バイブレータ (EnviroVib)	中型バイブレータ (EnviroVib)
バイブレータ台数	1 台	1 台	1 台
標準発震点間隔	10 m	50 m	1000 m
発震区間	8.85 km (道路沿い)	5.5 km (道路沿い)	8.85 km (道路沿い)
スイープ長	16 sec	16 sec	16 sec
発震回数/発震点	3回～10 回	3回	20回
スイープ周波数	8～100 Hz	8～40 Hz	8～40 Hz
総発震点数	852 点	95 点	10 点
受振系パラメータ			
受振点間隔	10m		
受振器種別	SM-24 10Hz, GS-One 10Hz		
受振器数/受振点	3個組, シングル		
展開パターン	固定展開		
展開長	8.85 km		
総受振点数	885点		
記録系パラメータ			
独立型記録システム			
サンプルレート	2 msec		
チャンネル数	885 (固定)		
プリアンプゲイン	30dB		
記録長	連続観測(データ取得後に下記パラメータにて編集作業を実施)		
Diversity Edit パラメータ	W=2.0sec(Ovl=1.0sec) $\alpha=3.0$		
相互相関	CAS		
編集後記録長	4 sec		