

3. 1. 3 近畿地殻構造探査（近江測線）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目：近畿地殻構造探査（近江測線）

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志	satow@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	平田 直	hirata@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	岩崎 貴哉	iwasaki@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	額 一起	koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp
京都大学防災研究所	教授	伊藤 潔	ito@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	教授	梅田 康弘	umeda@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
千葉大学理学部	教授	伊藤 谷生	tito@earth.s.chiba-u.ac.jp
独立行政法人防災科学技術研究所	主任研究員	笠原 敬司	kasa@geo.bosai.go.jp
東京大学地震研究所	産学官連携 研究員	加藤 直子	naoko@eri.u-tokyo.ac.jp

(c) 業務の目的

大都市圏において大規模な地震に伴って発生する強震動を高い精度で予測するためには、少なくとも震源断層の形態や特性、強震動伝搬経路の弾性波速度構造などが解明される必要がある。本業務では大都市圏に被害を与える震源断層の形態や特性、強震動伝搬経路の弾性波速度構造などについて制御震源を用いて明らかにすることを目的とする。

(d) 5カ年の年次実施計画：制御震源による地殻構造探査の年次計画について、3.1.1 参照。

(e) 平成 18 年度業務目的

近畿圏には高い密度で活断層が分布しているが、それらの地震発生層中での形状や、接合関係については明らかにされていない。地震発生層中の断層の位置形状を明らかにすることは、活断層の深部延長から発生する地震の強震動を予測する上で基本的な情報である。平成 16 年に実施した大阪・鈴鹿測線の北方域には、近畿圏に被害をもたらす可能性のある主要な活断層である花折断層・琵琶湖西岸断層帯・養老断層などが位置する。これらを横断して断層の深部形状を明らかにし、併せて地震波が伝搬する弾性波速度構造を明らかにすることは、近畿圏の強震動予測の高精度化に資する。

こうした背景から、近畿圏の中で活断層が集中する近畿三角帯とよばれる領域の北部を東西に横切る測線を設定し、断層を含む地殻構造のイメージングと、速度構造を明らかにするための地殻構造探査を実施した。

(2) 平成 18 年度の成果

(a) 業務の要約

丹波高原の京都府南丹市から比良山地、琵琶湖、近江盆地、養老山地を経て濃尾平野西縁に至る道路沿いで約 115km、平滑化した投影測線上で約 101km の測線で、反射法地震探査、広角反射法/屈折法地震探査を実施した。高エネルギー発震の低重合反射法地震探査によって、地殻・上部マントルにおよぶ反射イメージが得られた。フィリピン海プレート上面からの反射は明瞭で、養老山地下で頂部を示し凸型

に湾曲した形状を示す。下部地殻は反射面に富んでおり、琵琶湖下で下方に低下した構造を示す。琵琶湖西岸断層帯の延長に相当する西傾斜の断層面に相当する反射イベントは、花折断層の直下よりもさらに西側に分布しており、高角度が推定される花折断層と交差して分布する。養老断層は 6km まで 50～45 度の西傾斜、鈴鹿東縁断層は 5km まで約 35 度の西傾斜で追跡された。

(b) 業務の成果

1) 調査地域

本調査では、京都府南丹市日吉町生畑から東方向に京都市右京区京北灰屋町、同左京区花背峠、比良山地を経て琵琶湖南部を横断し、滋賀県湖東地域から鈴鹿山地及び養老山地を越えて、濃尾平野の西端部に位置する岐阜県海津市海津町大和田に至る約 101km の区間を調査測線として設定した。この測線区間は、下記の 4 府県 16 市町村に亙る山岳地域及び琵琶湖周辺地域に及ぶ。

- ・京都府... 南丹市及び京都市(右京区、左京区)
- ・滋賀県... 大津市、野洲市、近江八幡市、安土町、東近江市、愛荘町、彦根市、豊郷町、甲良町及び多賀町
- ・三重県... いなべ市
- ・岐阜県... 大垣市、海津市及び養老町

図 1、2 に調査測線概略図を、図 3、4 に調査測線に受振点、発震点及び CMP 広域重合測線(広角反射法重合測線)を重複表示した測線位置図を示した。また、図 5、6 に地質図上に調査測線を重複表示した図面を示した。

西部の丹波高原には、ジュラ紀付加体である丹波層群が分布する。丹波層群 (Sakaguchi, 1961) ¹⁾ は、泥質岩・砂岩・チャートおよび緑色岩類を主とし、石灰岩をとまなう。走向はほぼ東西で、同方向の背斜・向斜・衝上断層が発達する。丹波高原の東縁には、花折断層が位置する。花折断層帯は、滋賀県高島郡今津町から京都市を経て京都府宇治市に至る断層帯であり、京都盆地－奈良盆地断層帯北部を含む。全体として長さは約 58km で、北北東－南南西方向に延びている ²⁾。京都市左京区南部から断層帯南端の宇治市に至る南部を除く区間は、右横ずれを主体とする横ずれ断層である。断層を隔てて大きな高度差を示さないことや、地表近傍での観察結果から高角度の傾斜を有する断層と推定されている。花折断層の東側には比良山地が位置する。比良山地には丹波層群中に貫入した白亜紀花崗岩類が分布する。測線上では白亜紀後期に貫入した霊仙花崗閃緑岩 ³⁾ の小岩体が分布する。比良山地の東麓、琵琶湖西岸には丹波層群・白亜系花崗岩類を不整合で覆って、古琵琶湖層群が分布する。測線周辺に分布するのは堅田層で鮮新統上部から更新統の湖成層である ³⁾。琵琶湖西岸には堅田断層が位置する。堅田断層は琵琶湖西岸断層帯 ⁴⁾ に属する東側低下の逆断層で、大きな (1～1.6 mm) 垂直平均変位速度を示す活断層である。この断層の低下側の琵琶湖西岸のボーリングでは地下 900m 付近に古琵琶湖層群の基底部と先新第三系の境界部が確認されている ⁵⁾。古琵琶湖層群は東方に向かって層厚を減じ、近江平野には古琵琶湖層群の基盤となっている白亜紀後期から古第三紀初頭にかけて貫入・噴出した湖東流紋岩類と呼ばれる熔結凝灰岩・花崗岩類が島状の山地をなして分布する ⁶⁾。これらは大規模なコールドロンの形成に伴って噴出したと考えられている ⁷⁾。近江平野の東方には鈴鹿山脈が位置する。鈴鹿山脈は、美濃帯に相当する中生界の緑色岩・石灰岩を主体とする岩相と、砕屑岩を主体とする岩相から構成される ^{7,8)}。鈴鹿山脈の西縁にはほぼ南北走向の逆断層群から構成される鈴鹿西縁断層帯が伸びる ⁹⁾。垂直平均変位速度は年 0.1～0.2mm と、小さな値を示す。鈴鹿山地東縁には鈴鹿東縁断層帯が位置し、年 0.2～0.4mm の垂直平

均変位速度を示す活断層となっている¹⁰⁾。そのため鈴鹿山脈は両縁が断層に限られた山脈を構成しているが基本的には、東翼急傾斜の非対称の構造をなす。鈴鹿東縁断層帯の低下側には、鮮新・更新統の奄芸層群が分布する¹¹⁾。古琵琶湖層群や濃尾平野の東海層群に相当する地層で、シルト・砂・礫から構成される。奄芸層群は、員弁川沿いに北北西-南南東方向に細長く分布し、東方の養老山地に露出する美濃帯の中生界を不整合で覆う。養老山地はその東翼を養老断層で断たれ、北北西-南南東方向に連なる。養老断層は濃尾平野と養老山地の境界をなす西傾斜の逆断層で、濃尾平野西部では地下 2km の深さに分布する中生界と新第三系の基底部¹²⁾と、養老山地の標高を考慮すると 3km の垂直変位を有する大規模な断層である。また、年 3-4mm という極めて大きな垂直平均変位速度を示す¹³⁾。

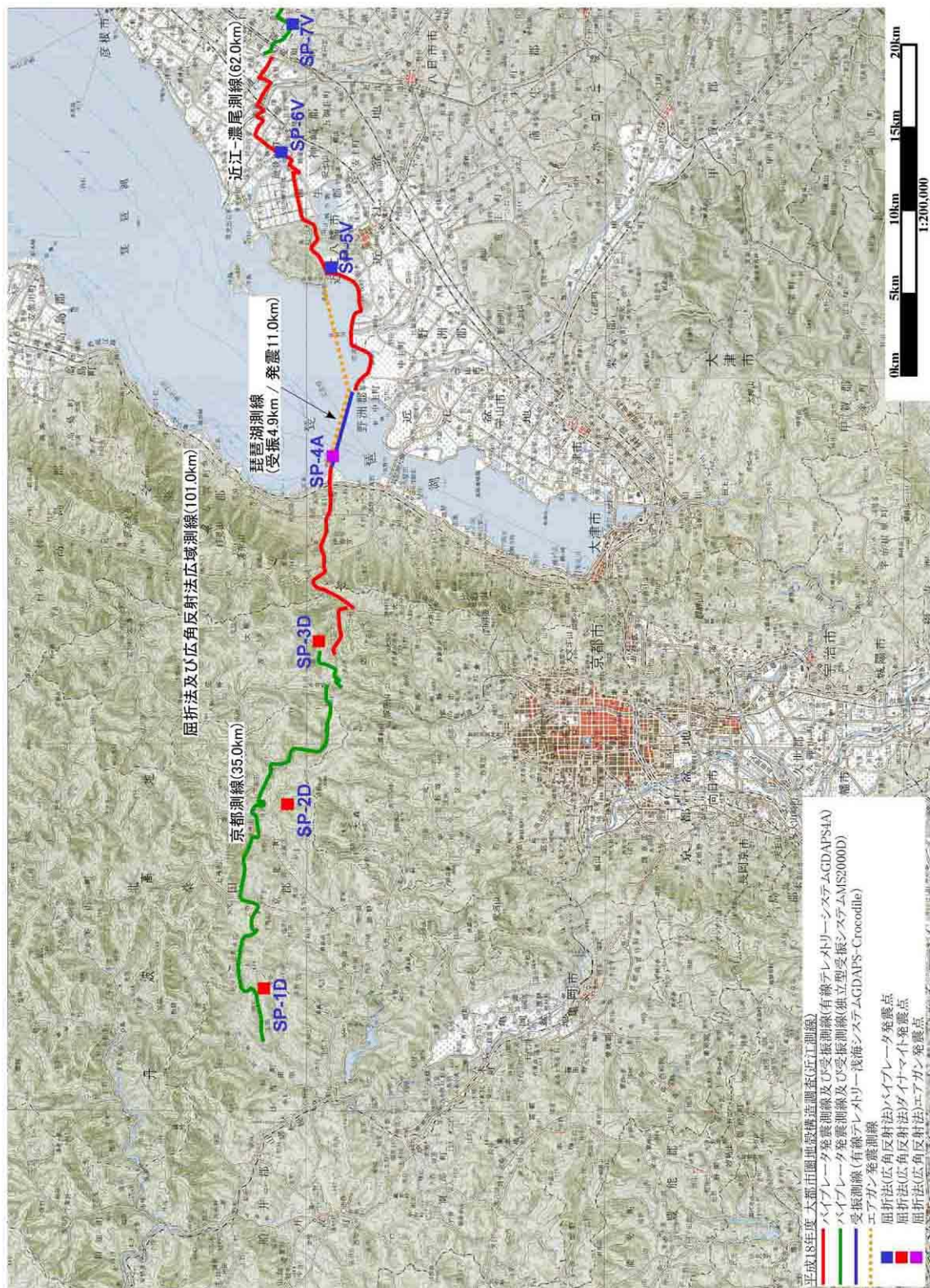


図1 調査測線概略図[1]

国土地理院発行 1:200,000 地勢図(京都及び大阪, 名古屋)に加筆

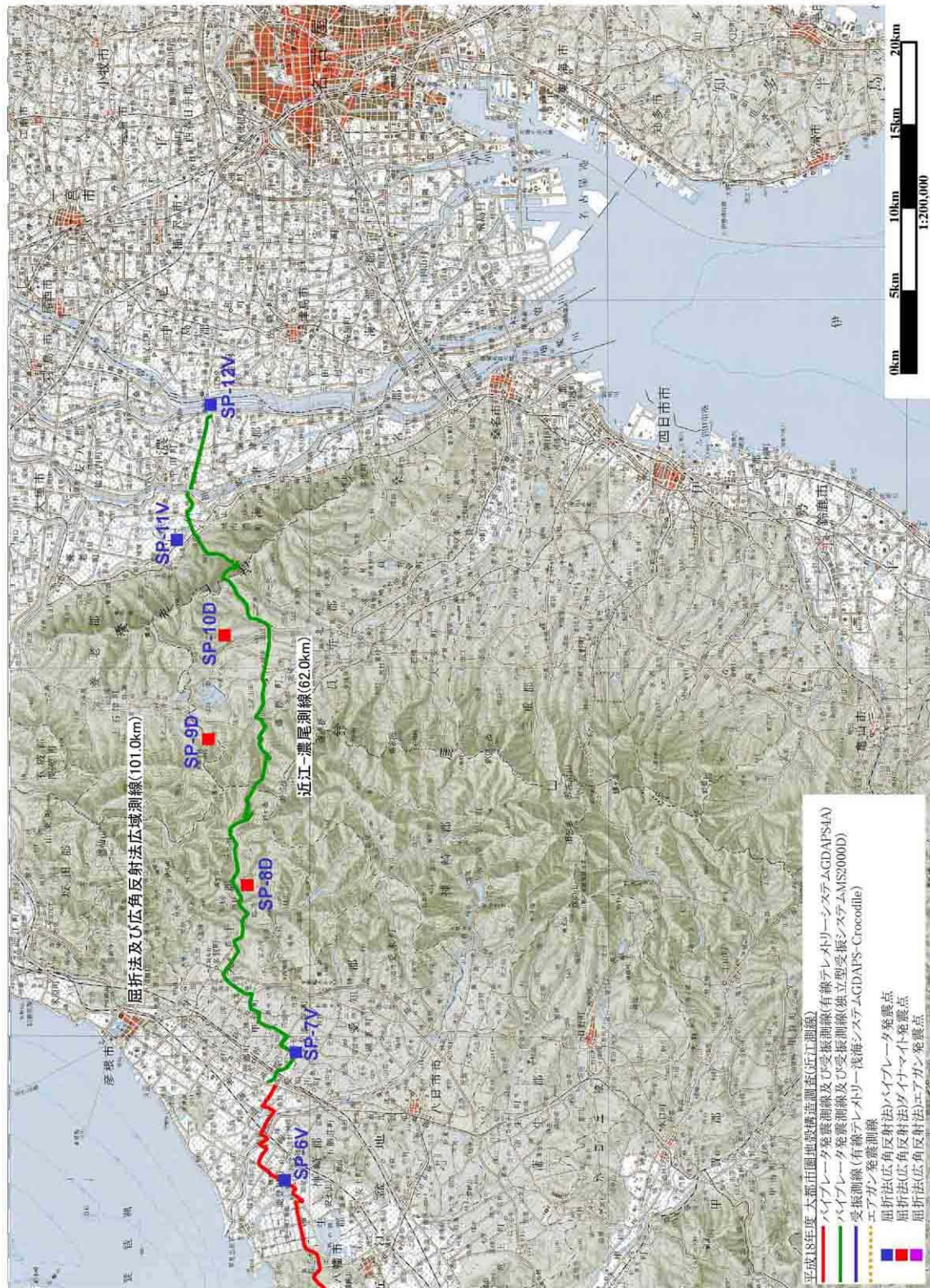


図2 調査測線概略図[2]

国土地理院発行 1:200,000 地勢図(京都及び大阪, 名古屋)に加筆

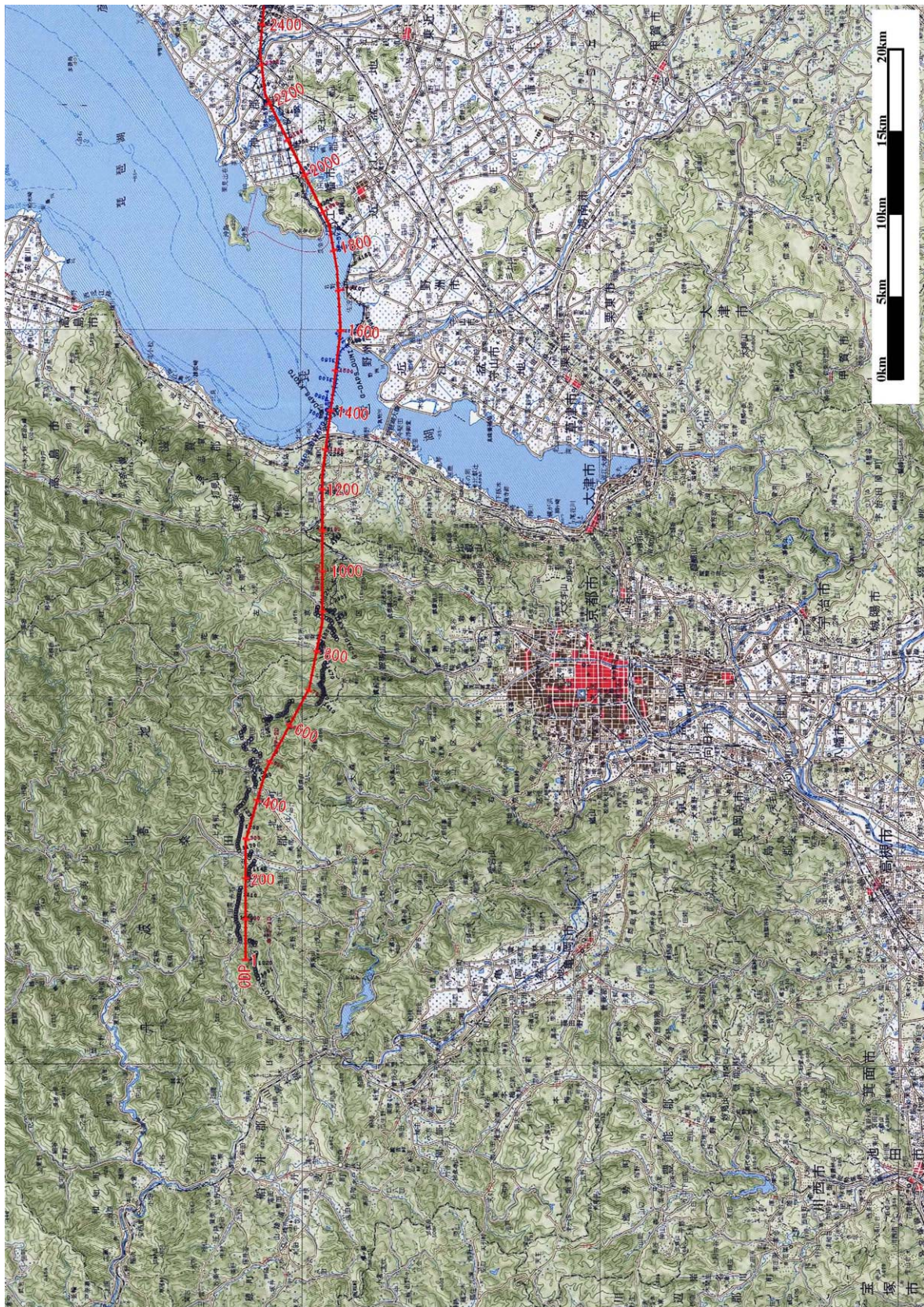


図3 受振点、発震点及びCMP 広域重合測線 [1]
 国土地理院発行 1:200,000 地勢図(京都及び大阪,名古屋)に加筆

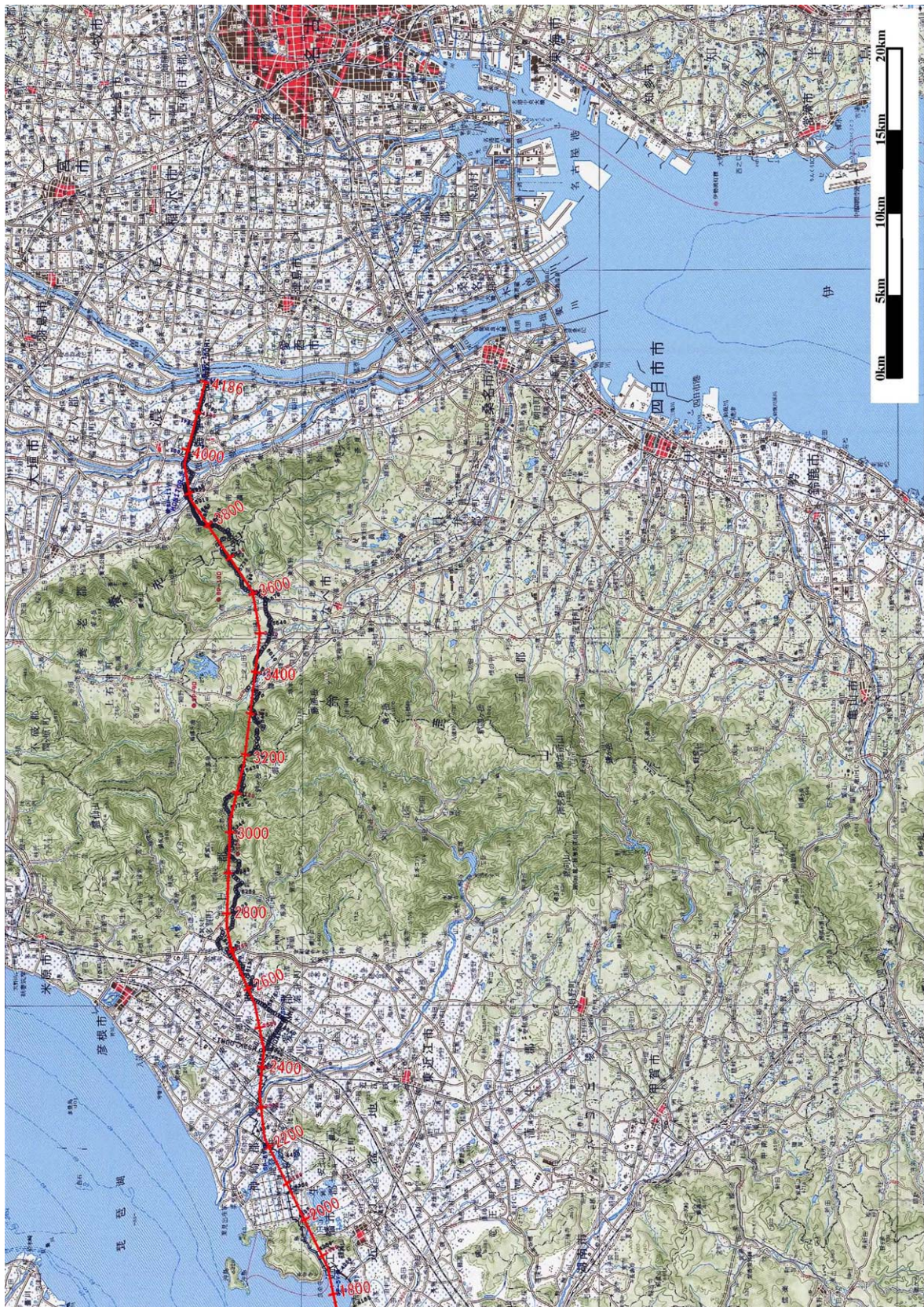


図4 受振点、発震点及びCMP広域重合測線 [2]
 国土地理院発行 1:200,000 地勢図(京都及び大阪,名古屋)に加筆

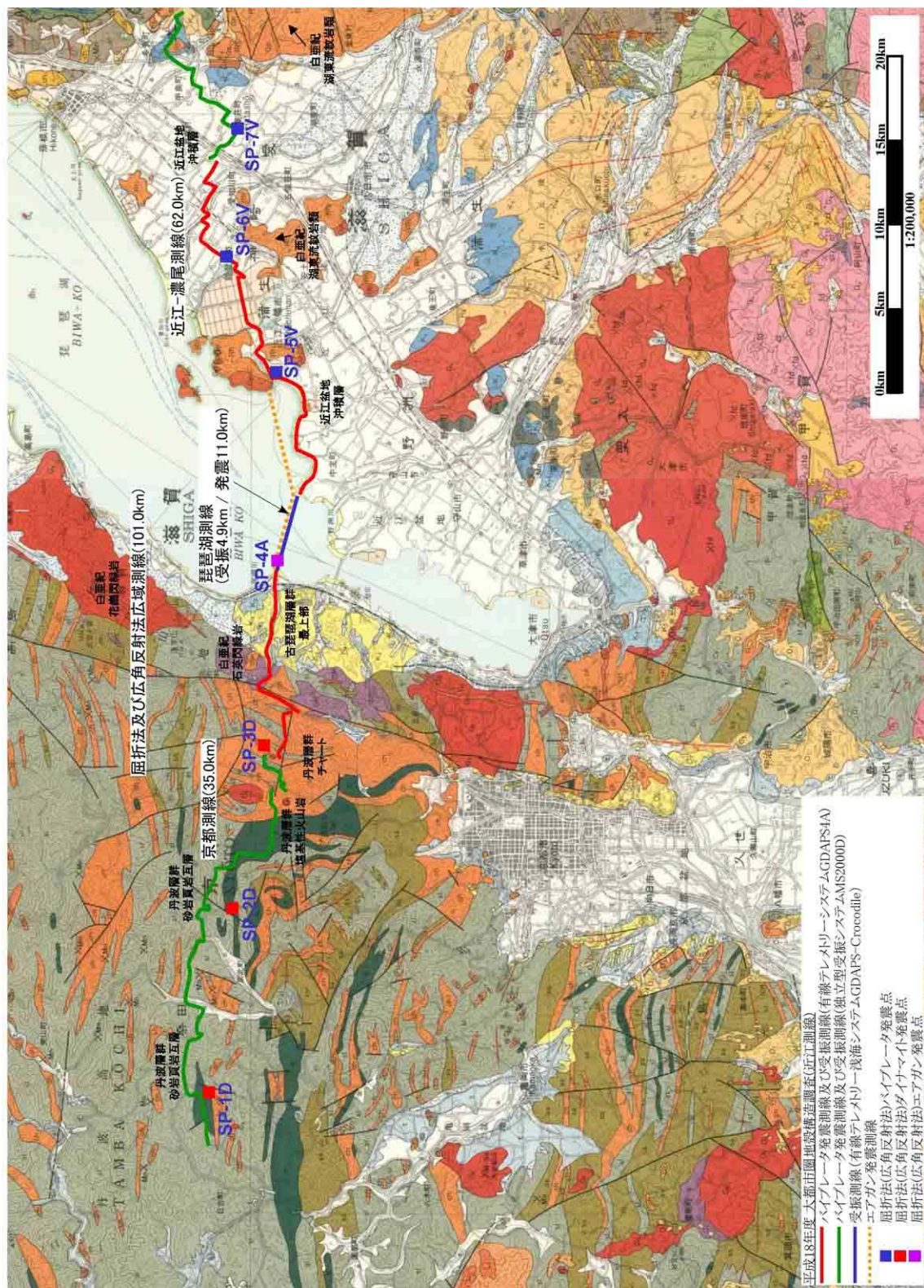
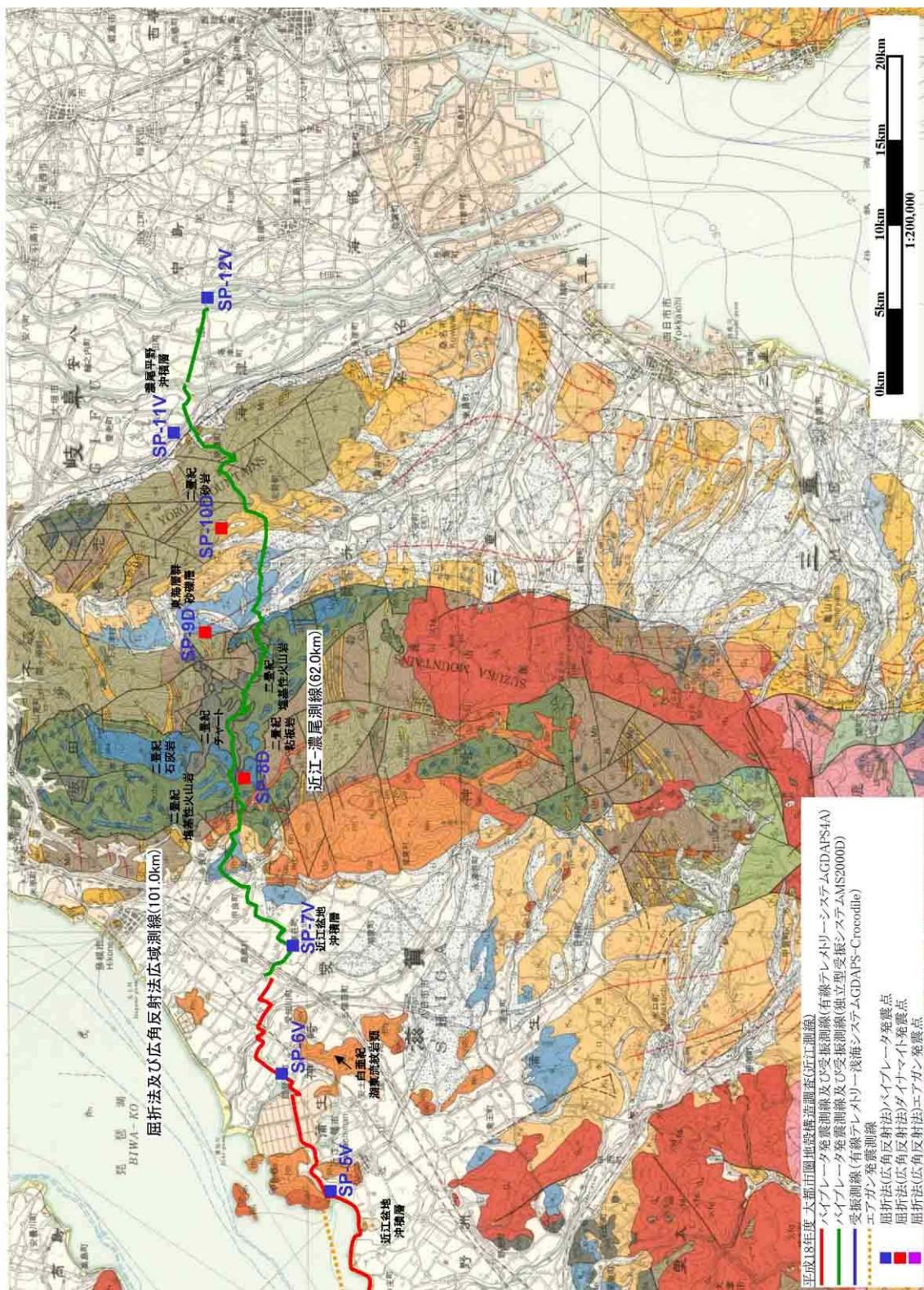


図5 調査測線地質図[1]

産業技術総合研究所発行 1:200,000 地質図(京都及び大阪,名古屋)に加筆



2) データ取得作業

a) 調査測線

本調査測線の琵琶湖以西の区間は、前述の様に京都府南丹市日吉町生畑から東方向に京都市右京区京北灰屋町、同左京区花背峠、比良山地を経て琵琶湖西岸の和邇浜に達する。さらに、調査測線は和邇浜-滋賀県野洲市吉川間で琵琶湖南部を横断し、琵琶湖以東の区間では、滋賀県湖東地域から国道 306 号線沿いに鈴鹿山地を越えて、鞍掛峠を経て三重県いなべ市藤原町に至り、さらに養老山地を越えて、濃尾平野の西端部に位置する岐阜県海津市海津町大和田に達する。測線長は道路沿いで約 146km、平滑化した投影測線上で約 101km となる。本調査では、琵琶湖横断区間ではエアガン発震作業が、琵琶湖以外の陸域区間ではバイブレータ発震作業が実施された。さらに、測線全域において計 12 点(ダイナマイト発震…6 点、エアガン集中発震…1 点、バイブレータ集中発震…5 点)の広角反射法及び屈折法データが取得された。尚、以下の本報告書における測線長及び展開長としては、原則として投影測線上の距離を記載する。

本調査の約 101km に亘る長大測線では、有線テレメトリー方式の受振システムに加えて、独立型データ収録装置 MS2000D が併用された。有線テレメトリー方式については、湖西地域から琵琶湖を横断して近江盆地西部に至る 36.9km の区間で採用され、独立型データ収録システムについては、京都北山区間 27.0km、近江盆地東部から鈴鹿山地-養老山地を横断する区間 41.0km で採用された。尚、受振点番号としては、有線テレメトリーシステム G-DAPS4 展開区間の起点番号を、京都測線東部については'2001'、琵琶湖測線については'3001'、近江-濃尾測線西部については'4001'、濃尾平野モニター測線については'7001'とした。また、独立型受振システム MS-2000D 展開区間の起点番号を、京都測線東部については'1001'、近江-濃尾測線西部については'5001'、とした。さらに発震点番号は原則として近接する受振点番号と同一番号とし、発震測線が受振測線に対してオフセットを持つ場合には、'発震点位置を受振測線に対して投影した場合の受振測線上の番号+10000'を発震点番号として与えた。

以下に、有線テレメトリーシステムを展開した湖西地域、琵琶湖横断地域及び近江盆地西部地域、独立型受振システムを展開した京都北山地域、近江盆地東部地域、鈴鹿山地-養老山地横断地域について、測線概要を記述する。

i) 京都測線西部区間(京都府南丹市日吉町生畑-同京都市左京区大原小出石町)

受振区間…Loc. 1001-1564(受振測線長…24.0km)

測線西端の京都府南丹市日吉町から同京都市右京区京北下黒田町に至る約 16.5km の区間は丹波層群砂岩頁岩互層が露出している地域であり、この区間以東の灰屋川沿いに設定された約 3.5km の測線区間では丹波層群灰屋コンプレックスの塩基性火山岩類が、さらに東側の花背峠-百井峠の区間約 4.0km では丹波層群大原コンプレックスのチャート類が卓越している。この地域では京都府北部地域から京都市街地へ通ずる南北方向の道路は比較的発達しているものの、東西方向の道路は限定されるため、最終的に確定した調査測線には狹隘区間が数多く含まれ、かつ地方道に加えて林道及び伐開を伴う林業作業路に受振測線が設定された。

この京都北山地域では短波長の標高変化が顕著であり、南丹市日吉町明日ヶ谷西側(標高 381m…Loc. 1037)、京都市右京区京北井戸町井戸峠(標高 434m. Loc. 1223)、京都市右京区京北灰屋町林業作業路内(標高 590m…Loc. 1349)近傍においては 100m 程度の比高変化が存在した。また、府道 361 号上黒田貴船線から芹生峠方向分岐から灰屋川沿いに東進する地点から、花背峠(標高 765m. Loc. 1504)

及び百井峠（標高 738m. Loc. 1529）を経て京都市左京区大原方面にかけては、約 400m の大きな比高変化を伴い、京都府右京区京北灰屋町から東へ約 1.7km に位置する石仏峠南（京都市北区雲ヶ畑山谷町方面）に無線基地点を設けて、琵琶湖西岸に配置した観測車と京都北山西部地域の発震点におけるパイプレータとの無線中継を行った。以下に、調査測線の状況について概要を記述する。尚、京都測線西部区間 27.0km には独立型受振システム MS2000D の受振機材が展開された。

測線西端部は京都府南丹市明日ヶ谷-小畑を結ぶ林道（370m のギャップが存在）であり、明日ヶ谷北の佐々江地区から府道 78 号佐々江下中線沿いに弓削川西側の堤防道路及び下中地区の農道を経て国道 162 号線周山街道に至る。尚、本調査測線は平成 16 年度大都市圏地殻構造調査新宮-舞鶴測線とは、京都府南丹市日吉町佐々江において交点を持つ（新宮-舞鶴測線 Loc. 1280、近江測線 Loc. 1048）。周山街道から九重桜で有名な常照皇寺の門前に位置する山国御陵までは、府道 61 号京都京北線に相当し、井戸峠越の約 1.0km の区間が狭隘であるものの、それ以外の区間では道路幅が確保され、保安要件となる構築物は無く集落も存在しない。山国御陵以東については国道 477 号線沿いに京都市右京区下黒田町に至るまでの区間は道路幅が広く、桂川沿いの路肩も確保されていることから、受発震測線共に設定は容易であった。この下黒田地区から府道 361 号上黒田貴船線沿いの灰屋地区に至るまでの約 1.8km の区間では、勾配のある林道作業路に受振測線が峠の両側に設定され、一部は廃道のため伐開作業が必要であった。灰屋地区から国道 477 号線屈曲点の旧道別れ（Loc. 1481）に至る区間では、府道 361 号上黒田貴船線、芹生谷林道及び村山林道の道路幅が 4.0m 程度で非常に狭く、パイプレータ低重合発震点の選定及び受振機材の展開には十分な検討が必要であった。旧道別れ（Loc. 1481）から花背峠を経て百井別れ（Loc. 1505）に至る箇所は国道 477 号線沿いの二車線区間に測線が位置し、低重合発震点を三点確保することが可能であった。百井別れ以東の調査測線は、百井峠、百井町を経て京都市左京区大原百井町の前ヶ畑峠に至る区間に相当するが、狭隘路が連続し、大型車両通行禁止区間に指定されている。従って、百井町の民家密集地区を通過する 500m の区間に関しては、百井川南の百井林業作業路（ワラ谷線）に受発震測線を移動させた。

ii) 京都測線東部区間（京都府京都市左京区大原小出石町-滋賀県大津市和邇南浜）

受振区間…Loc. 2001-2302（受振測線長…11.0km）

この区間では有線テレメトリーシステム G-DAPS4 が展開され、測線東端の和邇川河口において琵琶湖東岸のマイアミ浜から湖底に設置された GDAPS-Crocodile の湖底ケーブルと接続された。この調査測線域は、独立型受振システムの区間と接続する京都市左京区大原小出石町前ヶ畑峠入口（Loc. 2001）から花折断層横断箇所である国道 367 号鯖街道の途中トンネル（Loc. 2140）に至るまでの区間は丹波層群大原コンプレックスのチャート類が露出し、途中トンネルから琵琶湖方向に約 3.0km の区間では領家深成岩類が、さらに和邇川に沿って古琵琶湖層群最上部が広範囲に分布し、河口域では沖積層が存在している。測線沿いの標高は途中越区間を除いて、緩やかな傾斜を伴って和邇川河口に至る。

京都測線有線テレメトリー展開の起点（京都市左京区大原小出石町前ヶ畑峠入口）から下り勾配を伴って小出石町公民館前に至る約 3.0km の国道 477 号線区間は二車線が確保されて、稠密な標準発震が可能であった。大原小出石町から東側に関しては、国道 367 号鯖街道沿いに途中越を経て途中口に至る。但し、途中越から途中口に至る区間では、途中トンネルの北西側に位置する旧道が受振測線として採用された。国道 367 号鯖街道は滋賀県高島郡朽木村を経て福井県に至る幹線道路であり、大型車両を中心とした交通量は非常に顕著である。途中口から国道 477 号線及び県道 311 号途中志賀線沿いに滋賀県大

津市和邇春日地区に至る約 5.2km の区間では、車両通行量は間歇的であり湖西道路横断箇所を除いて二車線が確保され、一部の家屋点在箇所を除けば稠密な標準発震が可能であった。和邇川河口から県道 311 号途中志賀線に接続する地点までの区間では、和邇川兩岸の堤防道路が受発震測線として採用された。湖西線以東では受発震測線共に和邇川左岸に、湖西線以西では受振測線は和邇川左岸に、発震測線は和邇川右岸に設定された。

京都測線有線テレメトリー展開区間では、受振器は原則として道路路肩の表土が露出している部分を選択して設置され、約 15% 程度の表土が見出せない区間でアルミ製受振器スタンドが使用された。尚、受振測線が幹線県道等を横断する際に信号柱等が用いられたケーブル共架箇所は 1 箇所である。

iii) 琵琶湖測線区間(滋賀県大津市和邇南浜-同野洲市吉川マイアミ浜-同近江八幡市長命寺)

受振区間…Loc. 3001-3196(受振測線長…4.9km)

発震区間…SP. 3001-3215(発震測線長…11.0km)

琵琶湖を横断する受振区間では、滋賀県大津市和邇南浜から同近江八幡市長命寺の約 4.9km の区間において GDAPS-Crocodile システムが 4.9km に互って敷設された。湖底敷設ケーブルの上陸箇所である和邇南浜及びマイアミ浜共に陸域測線との接合部には障害物は認められない。但し、和邇浜の北部及び南部、マイアミ浜の北部及び南部には琵琶湖地域にける代表的な永久敷設型定置網であるエリが広がるため、後述の様に受振測線には屈曲箇所が二点設定された。琵琶湖測線における水深(ケーブル深度)の最深点(水深 25.5m)は和邇南浜から 925m 東進した地点であり、以西のマイアミ浜側へ水深は徐々に浅くなる。琵琶湖では現在、水質汚染による富栄養化の影響で水深 3~5m 以浅の南湖全域及び北湖湖岸地域では藻の大量発生の問題が顕在化しているが、湖岸一帯では藻の密殖による影響は認められなかった。また、琵琶湖汽船の定期船及び観光船を除外して、ヨットあるいはレジャーボート等の航行は少なかった。また、エアガン発震作業と併せて、琵琶湖横断測線は、滋賀県農政水産部、滋賀県漁業協同組合連合会及び各漁協(南浜、能登川町、近江八幡、沖島、守山、中主、志賀町及び堅田)の全面的な協力を得て実現できたものである。

エアガン発震測線については、湖面上に数箇所存在する漁業関係のブイを迂回するため、和邇南浜東側 1.2km 沖合でやや南に凸部が存在する。琵琶湖中央部から菖蒲港方面に向けては、徐々に屈曲を伴いつつ長命寺港方面に向かって発震測線が設定された。マイアミ浜北部及び日野川河口域ではエリ(永久敷設型定置網)の規模が大きく、この区間では発震測線を水深 10~12m 以深の沖合に 0.6~2.0km の T-オフセットを持たせた。日野川河口域から長命寺港沖合の区間では湖底面の起伏が存在し、水深は長命寺港側で平均 7.0m 程度である。

iv) 近江-濃尾測線西部区間(滋賀県野洲市吉川-同犬上郡多賀町大君ヶ畑)

受振区間…Loc. 4001-4578, 5001-5444(受振測線長…39.5km)

この区間の近江盆地西側(滋賀県野洲市吉川-同愛知郡愛荘町長野)には有線テレメトリーシステムが展開された。また、近江盆地東側(滋賀県犬上郡豊郷町大字沢-同犬上郡多賀町大君ヶ畑)には独立型受振システムが展開された。測線沿いの近江盆地では、琵琶湖岸の砂洲が広がる区間を除いて地表面は沖積層によって被覆されているもの、近江八幡市長命寺山を中心として湖東流紋岩類の露頭が存在し、深度 800m 未満程度の比較的浅い先新第三系基盤の形状変化を示唆している。名神高速道路横断箇所(Loc. 5175.. 滋賀県犬上郡多賀町蟹満寺)近傍の近江盆地東縁から滋賀県-三重県の県境に位置する鈴鹿山地鞍掛峠にかけての地域では、白亜系湖東流紋岩類、二畳系砂岩、同石灰岩及び同チャート類がパッ

チ状に分布している。尚、近江-濃尾測線西部区間では、約 20%程度の表土が見出せない区間でアルミ製受振器スタンドが使用された。

v) 近江-濃尾測線東部区間(三重県いなべ市藤原町本郷-岐阜県海津市海津町大和田)

受振区間…Loc. 5445-6116(受振測線長…31.5km)

この区間は全域において独立型受振システムが展開され、品質管理を目的として岐阜県海津市平田町脇野地区の 2.0km 区間において有線テレメトリーシステムが重複配置された。この区間の鈴鹿山地東側は二畳紀砂岩、同石灰岩及び同チャート類が、鈴鹿東縁断層系一志断層横断箇所(Loc. 5535 近傍)周辺では東海層群が分布する。三重県いなべ市域は鈴鹿山地東縁地域及び養老山地西縁地域では東海層群によって、員弁川周辺では沖積層、段丘堆積物によって被覆されている。養老山地横断区間は二畳紀砂岩類が卓越し、養老断層以東の濃尾平野区間では沖積層によって被覆されている。この近江-濃尾測線東部地域では鈴鹿山地及び養老山地を横断して調査測線が設定されたため、標高変化が顕著であり、鈴鹿山地鞍掛峠東(標高 650m…Loc. 5445)及び養老山地二之瀬越(標高 407m…Loc. 5775)の測線横断区間では最大 550m に及ぶ比高変化が存在した。従って、養老山地二之瀬越に無線基地点を設けて、濃尾平野内に配置した観測車と鈴鹿山地-養老山地間に位置する三重県いなべ市区間の発震点におけるバイブレータとの無線中継が行われた。以下に、西側から順に調査測線の概要を記述する。尚、近江-濃尾測線東部区間では、主に鈴鹿山地を横断する国道 306 号線と養老山地を横断する県道 25 号南濃北勢線を中心として、約 20%程度の表土が見出せない箇所ではアルミ製受振器スタンドが使用された。

b) 調査概要

本調査では、屈折法、広角反射法及び地域別の反射法データ取得が平成 18 年 10 月 1 日から同年 11 月 4 日の期間に実施された。その種別は、次の様に時間順に総括される。図 7 に本調査の測定作業フローチャートを示した。尚、下記の測線区間は測線重複部の受振器展開を含んでいる。

- Phase-1… 反射法バイブレータ京都測線
(京都府南丹市日吉町生畑-滋賀県大津市和邇南浜)
- Phase-2… 反射法及び屈折法バイブレータ近江-濃尾測線(1) 湖東地域
(滋賀県野洲市吉川-同東近江市山路)
- Phase-3… 反射法及び屈折法エアガン琵琶湖測線
(滋賀県大津市和邇南浜沖-同野洲市吉川沖-同近江八幡市長命寺港沖)
- Phase-4… 屈折法及び広角反射法ダイナマイト測線(全区間)
- Phase-5… 反射法及び屈折法バイブレータ近江-濃尾測線(2) 鈴鹿山地西側地域
(滋賀県東近江市山路-同犬上郡多賀町大君ヶ畑)
- Phase-6… 反射法及び屈折法バイブレータ近江-濃尾測線(3) 鈴鹿山地東側地域
(三重県いなべ市藤原町本郷-岐阜県海津市海津町大和田)

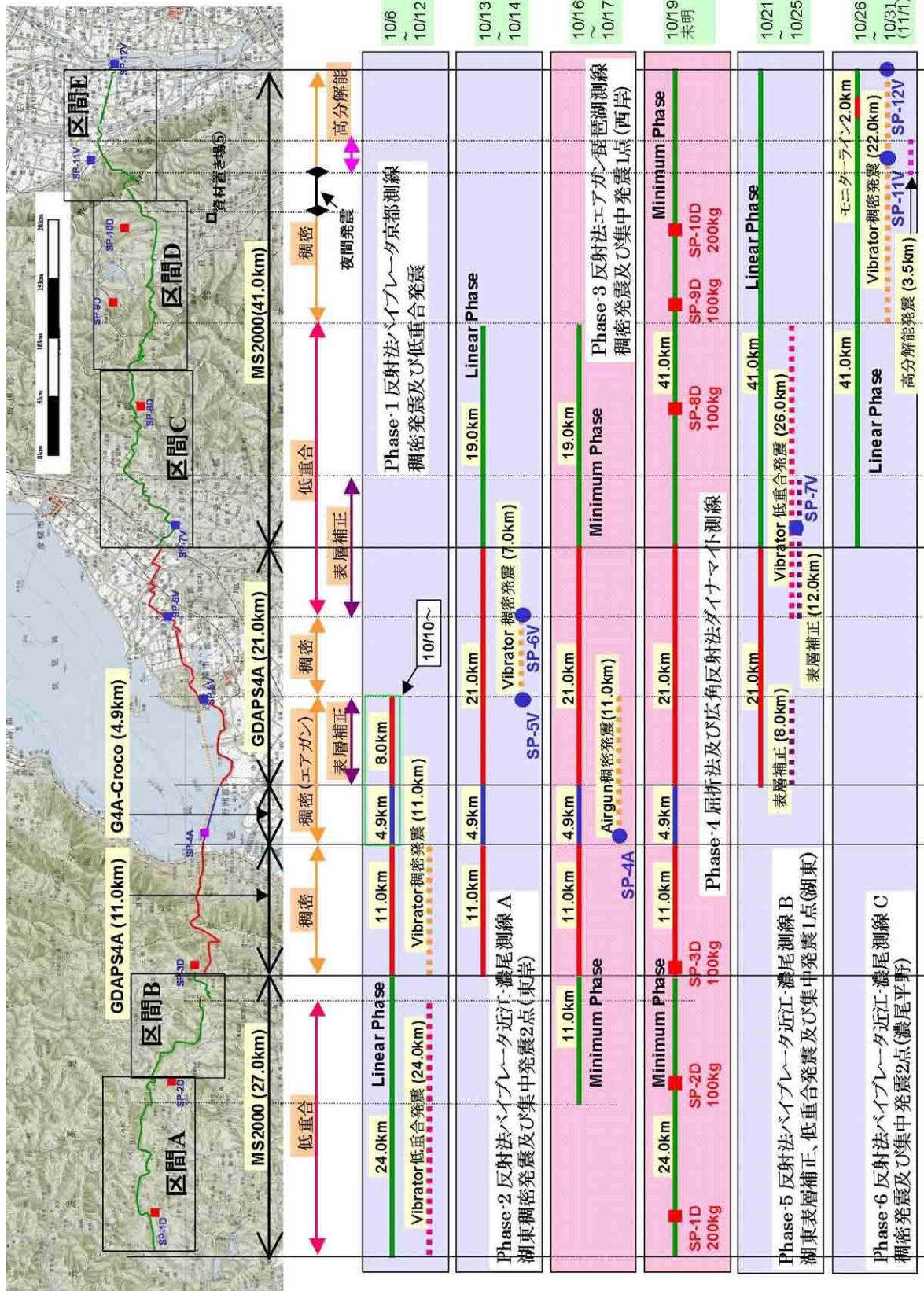


図 7 測定作業フローチャート

c) データ取得内容 (受振器設置作業)

i) 有線テレメトリーG-DAPS4 システム設置作業

広域屈折法及び広角反射法データ取得における全測線(投影測線長 101km)内で、Phase-1 から Phase-6 までの全期間において有線テレメトリーシステムが設置された区間は、琵琶湖西側の湖西地域 11.0km(投影測線長)と琵琶湖東側の近江盆地地域 21.0km(投影測線長)である。有線テレメトリーシステムによる受振区間では、主として道路(幹線道、地域道、林道及び農道)の路肩及び河川の河川敷及び堤防道路に沿って設置された。受振器、データ伝送装置(RSU)、バッテリーユニット及び本線ケーブルは、調査測線に沿って 50m 間隔で設置された木杭を目印にして敷設された。各受振点では原則として 9 個の受振器(ジオフォン)がバンチング設置された。受振器からの信号が集約されるデータ伝送装置(RSU)では、6 受振点毎のデータに対して A/D 変換、相互相関、ノイズエディットを伴う垂直重合処理が実施され、観測車に伝送された。尚、測定期間中の観測車位置は下記の通りである。Phase-3(エアガン屈折法)及び Phase-4(ダイナマイト屈折法)の測定作業においては、不確定要因による琵琶湖内湖底ケーブルの断線等に即応することを想定して観測車を琵琶湖両岸に 2 台配置した。

Phase-1	滋賀県大津市和邇南浜(1 台)
Phase-2、Phase-3(反射法)、Phase-5	滋賀県野洲市吉川マイアミ浜(1 台)
Phase-3(屈折法)、Phase-4	滋賀県大津市和邇南浜及び野洲市吉川マイアミ浜(2 台)
Phase-6	岐阜県海津市平田町脇野(1 台)

前述の様に、本調査はバイブレータ、エアガン及びダイナマイトの異種震源を複合的に組み合わせたデータ取得が実施され、測線西部地域では琵琶湖周辺の複雑な基盤構造のみならず、琵琶湖西岸断層深部延長部のイメージングが最も重要な探査対象であった。従って、展開機材について維持可能な許容範囲内において、全展開を使用する固定展開によってデータを取得した。尚、Phase-6 の反射法バイブレータ近江-濃尾測線の鈴鹿山地東側地域では、品質管理を目的として岐阜県海津市平田町脇野地区に設置された約 2.0km の区間において独立型受振システム展開と重複するデータ取得を行ない、濃尾モニター測線と称した。

ii) 有線テレメトリーG-DAPS-Crocodile システム設置作業

有線テレメトリーG-DAPS-Crocodile システムの琵琶湖湖底への敷設は、琵琶湖西岸断層帯を横断する直線性の高い測線ジオメトリーの確保のみならず、低ノイズ環境における稠密展開データ取得の観点から、高品質のデータ取得に大きく寄与をしたものと考えられる。

琵琶湖横断受振区間は前述した様に、滋賀県大津市和邇南浜を西端として同野洲市吉川マイアミ浜に至る 4.9km の区間であり、Phase-1(湖西側発震区間にみ)、Phase-2、Phase-3 及び Phase-4 のデータ取得時に展開された。和邇浜沖及びマイアミ浜沖に分布する永久敷設型の定置網(エリ)を回避するため、受振測線(受振点間隔 25m、受振区間 Loc. 3001-3196)には二箇所の屈曲点(Loc. 3071 及び Loc. 3173)が設定された。以下に、有線テレメトリーG-DAPS-Crocodile システム設置作業の内容を記述する。

- ・ ケーブル敷設船機装…G-DAPS-Crocodile 受振システムの敷設及び回収が実施可能な小型船舶を備船し、測深及び DGPS システムによる位置測定に関わる航測機材を搭載した。
- ・ 測深データ取得及び測線予察…予定受振測線周辺において、定置網及び漁業用各種ブイの正確な位置を把握して受振測線位置を確定した。併せて測深を実施してケーブル敷設深度を把握すると共に、DGPS 補正信号の受信状況を確認した。

- ・ 受振機材設置作業…小型航法システム CHiPS2(地球科学総合研究所)を用いて、ケーブル敷設船を誘導した。CHiPS2 ではビーコン局(三重県志摩市)から受信した DGPS 補正信号、ジャイロコンパスの方位記録及び測深データを毎秒取り込み、予察時の確定測線上を航行しながら G-DAPS-Crocodile 受振システムの受振器、ケーブル及びデータ伝送装置が湖底に敷設された。この際、6 受振点毎に接続されたデータ伝送装置間のケーブル両端に回収用のブイを 150m 間隔で取り付け付けた。このブイには航行船への標識として黄旗及び夜間用小型標識灯(L-2 型 : 灯色..黄色、灯質..4 秒 1 閃光、光達距離..2km)が装着された。尚、ケーブル敷設時には航行及び敷設作業の安全を図る目的から警戒船を帯同した。約 4.9km の琵琶湖横断区間におけるケーブル敷設作業には約 3.5 時間を要した。受振機材敷設期間中には適宜、ケーブル保守作業を行った。また、ケーブル敷設船が進入できない水陸境界域の浅瀬では人力によって、陸域有線テレメトリー測線との接続を行った。
- ・ データ伝送装置バッテリー交換作業…回収用のブイを目標にして、データ伝送装置に付随するバッテリーについて回収及び交換作業を実施し、併せてケーブル敷設位置の再測量を実施した。
- ・ 受振機材回収作業…回収用のブイを目標にして、湖底に敷設した全受振機材の回収を実施した。

iii) 独立型受振システム設置作業

広域ダイナマイト屈折法及び広角反射法データ取得における全測線(投影測線長 101km)内で、独立型受振システムの設置区間の測線長は 65km であり約 64%を占めている。今回採用された(株)地球科学総合研究所の独立型受振システム MS-2000D は、A/D 変換ユニット、受振器からの信号を入力するアナログケーブル、コンパクトフラッシュメモリーを内蔵したデータ収録ユニット、GPS システム及びリチウムバッテリーユニットから構成されている。このシステムは従来の有線テレメトリー記録装置と比較して可搬性に優れ、交通量の多い幹線道路、河川、標高差を伴う地形変化、ノイズレベル等の測線状況を考慮して非常に自由度の高い受振点位置の設定が可能である。従って、京都北山地域、鈴鹿山地及び養老山地周辺の山岳地域における受振測線の設定には、ジオメトリーに対する MS-2000D の柔軟性が大きく寄与したものと考えられる。独立型受振システム及び受振器の設置は、以下の手順によって実施された。

- ・ 受振器設置可能な屈曲測線位置に沿って 25-50m 間隔で測量木杭が設定される。
- ・ 直線投影測線上で 300m 間隔の MS-2000D ユニットの設置箇所を決定し、個別の AD ユニットの入力となる 6 チャンネル分の受振区間内における測線状況(道路、家屋及び地形変化)に応じて適宜移動する。
- ・ MS-2000D ユニットの設置及び各ユニットの入力となる受振器 6 点分の展開を行う。この場合、各ユニットに付随する受振点は局所的に屈曲した測線に沿って 50m 間隔で設定される。従って、局所的には投影測線上の受振点間隔は保証されていない。
- ・ 各種反射法及び屈折法の測定時間に応じた記録開始及び終了時間が設定され、GPS 受信の確認及び受振器設置状況の確認が実施される。
- ・ 毎日、GPS 受信状況及び受振器設置状況が確認され、適宜、データ収録ユニットの回収及び交換が行われる。
- ・ 回収されたデータ収録ユニットは Phase 単位で起震時間及び記録長を用いて編集され、相互相関、ノイズエディットを伴う垂直重合処理が外部で行われる。

尚、全測線区間における標準受振点間隔は 50m であるが、養老断層横断区間(Loc. 5823-5966)の 3.6km に関しては、浅層高分解能データの取得を目的として 25m 間隔で受振点が設定された。広角反射受振測線では、地形変化の顕著でアクセスできない箇所及び民家密集地において連続測線が設定できない区間

が存在する。独立型受振システムの展開に関わるギャップは、京都府南丹市日吉町佐々江(Loc. 1037)、京都府京都市右京区京北灰屋町(Loc. 1349)、京都府京都市左京区鞍馬本町(Loc. 1504)、滋賀県犬上郡多賀町大君ヶ畑(Loc. 5444)、三重県いなべ市北勢町二之瀬(Loc. 5774)、岐阜県海津市平田町脇野(Loc. 6008)等に存在するため、独立型システム設置区間 65km を 5 区間に分割した。また、各 MS2000D ユニットには 6 受振点分のデータ収録が可能であるが、受振器からのアナログケーブルの延長について、測線状況及び地形変化によって支障がある場合には、入力受振点数を減じて、複数のユニットに分散させる措置を適宜講じた。各 Phase における独立型受振システムの展開区間及び受振点数は、下記の通りである。

Phase-1…… 反射法バイブレータ京都測線

MS2000D 展開…Loc. 1001-1564(564 点)、94 ユニット(最大展開)

Phase-2…… 反射法バイブレータ近江-濃尾測線(1) 湖東地域

MS2000D 展開… Loc. 5001-5540(540 点)、91 ユニット(最大展開)

Phase-3…… 屈折法及び反射法エアガン琵琶湖測線

MS2000D 展開… Loc. 1253-1564、Loc. 5001-5540(852 点)、143 ユニット

Phase-4…… 屈折法及び広角反射法ダイナマイト測線(全区間)

MS2000D 展開… Loc. 1001-1564、Loc. 5001-6116(1680 点)、281 ユニット

Phase-5…… 反射法バイブレータ近江-濃尾測線(2) 鈴鹿山地西側地域

MS2000D 展開… Loc. 5001-6116(1116 点)、187 ユニット

Phase-6…… 反射法バイブレータ近江-濃尾測線(3) 鈴鹿山地東側地域

MS2000D 展開… Loc. 5001-6116(1116 点)、187 ユニット(最大展開)

d) データ取得内容 (ダイナマイト発震作業)

Phase-4 における屈折法及び広角反射法ダイナマイト発震データは以下に示す様に、京都府内 3 点、滋賀県内 1 点、三重県内 1 点及び岐阜県内 1 点の計 6 点で取得された。

SP-1D…京都府南丹市日吉町字生畑小字奥山 林道上稗生線

発震薬量…200kg、坑底深度…46.37m、薬頭深度…27.04m

発震時刻…平成 18 年 10 月 19 日午前 00 時 02 分 10.430 秒

表層地質…丹波層群砂岩泥岩互層

SP-2D…京都府京都市右京区京北井戸町

発震薬量…100kg、坑底深度…36.57m、薬頭深度…26.71m

発震時刻…平成 18 年 10 月 19 日午前 03 時 02 分 10.630 秒

表層地質…丹波層群砂岩泥岩互層

SP-3D…京都府京都市左京区大原百井町

発震薬量…100kg、坑底深度…36.73m、薬頭深度…26.95m

発震時刻…平成 18 年 10 月 19 日午前 01 時 02 分 10.939 秒

表層地質…丹波層群チャート

SP-8D…滋賀県犬上郡多賀町大字佐目 (株)滋賀鉱産多賀鉱山 採石場

発震薬量…100kg、坑底深度…46.47m、薬頭深度…36.70m

発震時刻…平成 18 年 10 月 19 日午前 01 時 32 分 11.730 秒

表層地質…二畳系石灰岩(比較的均質)

SP-9D... 岐阜県大垣市上石津町細野

発震薬量…100kg、 坑底深度…36.20m、 薬頭深度…26.40m

発震時刻…平成 18 年 10 月 19 日午前 00 時 32 分 12.536 秒

表層地質…二畳系砂岩

SP-10D. 三重県いなべ市北勢町田辺 林道千司久連線

発震薬量…200kg、 坑底深度…46.60m、 薬頭深度…27.45m

発震時刻…平成 18 年 10 月 19 日午前 03 時 32 分 11.753 秒

表層地質…二畳系砂岩

使用したダイナマイトは径 90mm の海底発破用(親ダイ径…80mm)である。ダイナマイト発震点の選点に際しては、SP-8D 及び SP-9D 以外の 4 点は林道内に設定され、SP-8D については採石場区域内、SP-9D については休耕田内に発震点が選択された。発破作業では、観測車及び発破点がそれぞれ独立にデータ収録と発破を実施する時刻発破が採用された。また、ダイナマイト発震作業に関わるダイアグラムを図 8 に示す。観測車側には高精度の GPS 時計を用いた衛星同期システム(Satellite Synchronizer Communication System(SSCS))が採用され、予定された記録開始時刻(発破開始時刻より 15 秒前)になると SSCS から M/S コントローラに開始信号が送られ、さらに M/S コントローラから探鉱機に'Clock TB' 信号が送られる。一方、発破点側では観測者と同型の SSCS から開始信号が発破同期装置 SSS-202 に送られ、ブラスターに発破信号が転送される。観測車及び発破点ともバックアップ用の刻時装置(LS-10K)が接続され、時刻確認を行った。また、発破点には CAP 信号、アップホール信号及び表層速度測定用の地表受振器記録が独立型記録装置 MS2000 によって、データ収録が行われた。図 9 にこのラインナップ観測取得データ及び実測された坑井近傍の表層速度を示す。ラインナップ受震器は、井戸元から 50m 離れた点に第一受振点を、その点から約 25m 間隔で三受振点が設置された。

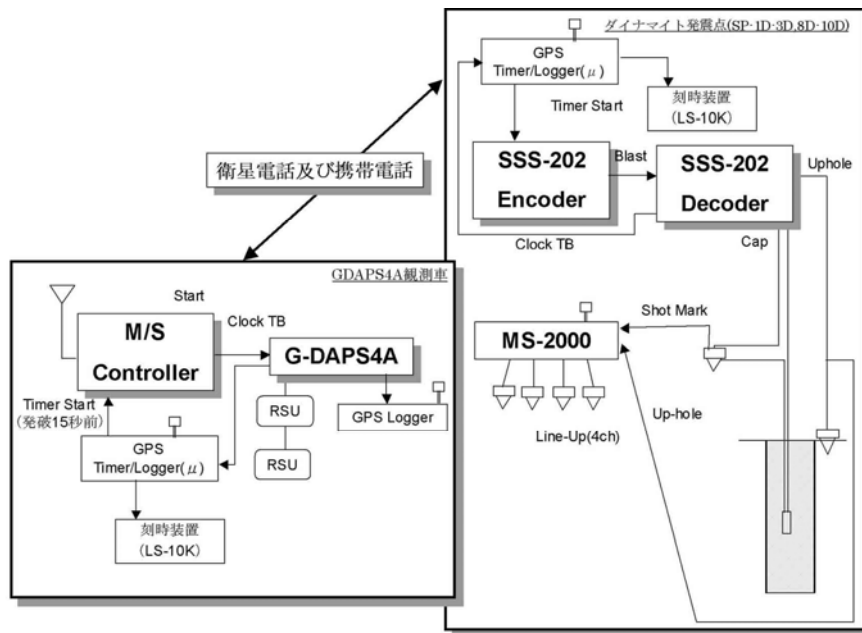


図 8 時刻発破による大薬量ダイナマイト発震レイアウト図

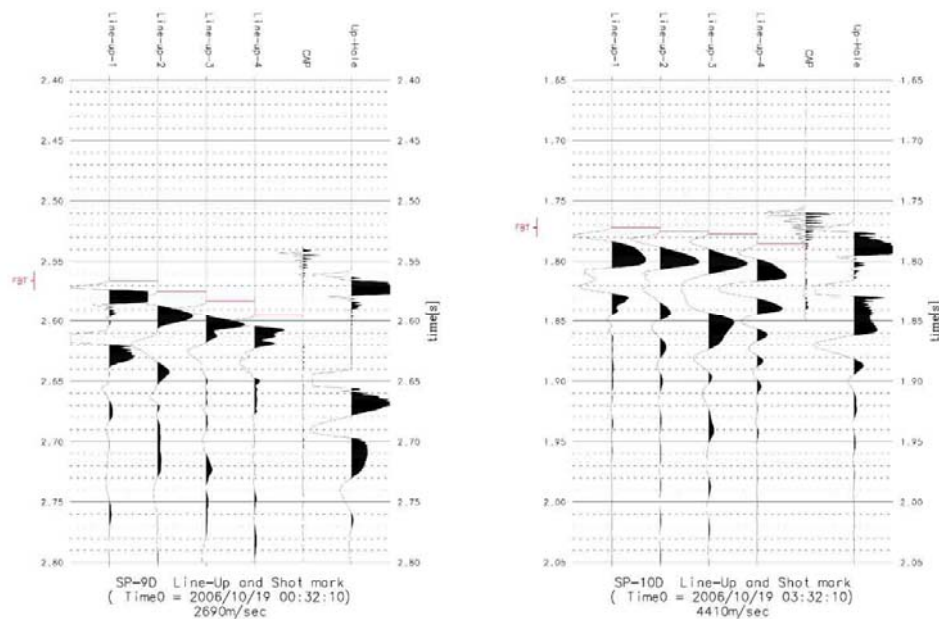


図9 屈折法ダイナマイト発震点ラインナップ記録及び表層速度推定結果

d) データ取得内容（バイブレータ発震作業）

本調査におけるバイブレータ発震は、探査対象及び測線毎に標準発震仕様が設定された。以下に、各測線別に発震作業の内容を記述する。

i) 反射法京都バイブレータ測線

反射法京都バイブレータ測線(発震点数 108 点)では、バイブロサイズ 4 台を震源として、京都測線西部の京都北山地域 24.0km 区間(京都府南丹市日吉町生畑-同京都市左京区大原小出石町)では約 1000m 間隔の低重合発震点 25 点を、京都測線東部の湖西地域 11.0km 区間(京都府京都市左京区大原小出石町-滋賀県大津市和邇南浜)では約 150m 間隔の標準発震点を 83 点確保した。低重合発震点及び標準発震点それぞれにおいて、ホールドダウンウェイトに対する制御出力を 80% として 40 回及び 12 回以上のスイープを行うことを標準仕様としたが、調査測線近傍の建造物、構築物、路面強度及び埋設管設置状況についての保安上の配慮から、標準発震エネルギーを確保できた発震点は約 79% であった。バイブレータのアレイパターンについては、100m の範囲内で適宜移動を行った。図 10 に今回の測定作業で採用された発震パターンの模式図を示す。本調査では、花折断層帯及び琵琶湖西岸断層帯の深部延長と両者の接合関係を把握する目的から、表層近傍での起震エネルギーの減衰、低周波帯域に発震エネルギーを集中させることによるバイブレータ起震機構への負荷等を総合的に勘案して、低重合発震については End 周波数を 30Hz、標準発震については 40Hz とすることに決定した。下記に、発震種別の受振器展開区間を記述する。

- ・ 低重合発震データ取得(VP. 1058. 0-1564. 0)

展開区間…… 展開長 35.0km

Loc. 1001-1564(京都独立型展開)、Loc. 2001-2302(湖西有線展開)

- ・ 標準発震データ取得(VP. 1058. 0-1564. 0)

展開区間…… 展開長 47.9km

Loc. 1001-1564(京都独立型展開)、Loc. 2001-2302(湖西有線展開)、
Loc. 3001-3196(琵琶湖展開)、Loc4001-4240(湖東有線展開)

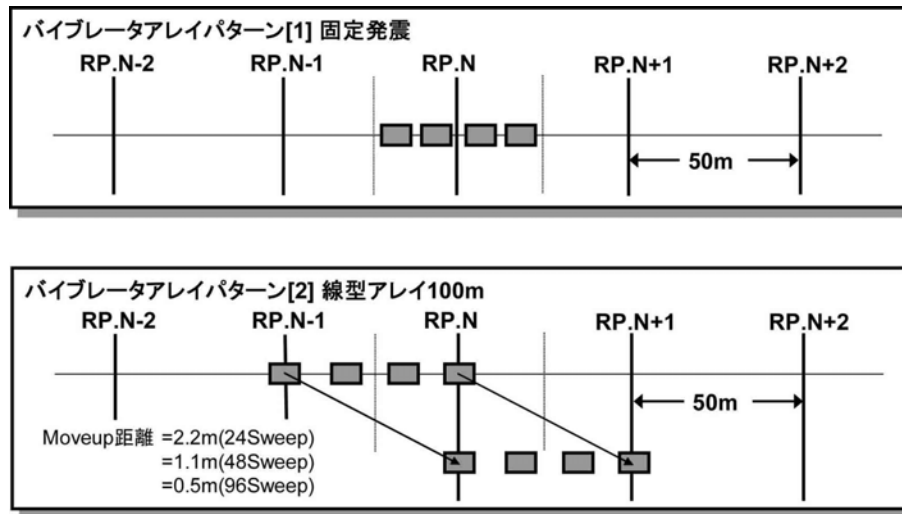


図 10 バイブレータ発震アレイパターン

ii) 反射法近江-濃尾バイブレータ測線西部

琵琶湖東岸から鈴鹿山地に至るまでの約 39.5km における発震作業は、東側から順に湖東地域表層補正用発震、標準反射法発震及び低重合発震区間に分けることができる。湖東地域表層補正発震は、琵琶湖内におけるエアガン稠密発震測線が県道 559 号近江八幡大津線(さざなみ街道)南側の陸域受振測線に対して約 800-2000m T-オフセットを持つことから設定され、表層補正量推定と近江盆地浅層構造の把握が目的とされている。湖底ケーブルの上陸点である滋賀県野洲市吉川マイアミ浜から同近江八幡市長命寺までの約 3.5km の発震区間において、大型バイブレータ 1 台(5-10 スウィープ/VP)による計 16 点のデータが約 500m 間隔で取得された。県道 559 号近江八幡大津線は京阪神地域と湖北地域を結ぶ幹線道路であり、大型車両を中心とした交通量が非常に多く、県道上における発震作業は困難であることから、県道南側の市道及び農道に発震点が設定された。

近江盆地における標準反射法発震作業では、バイブロサイズ 4 台を震源として、滋賀県近江八幡市津田町から東近江市、愛荘町、豊郷町及び甲良町の市街地を経て名神高速自動車道多賀 SA 南側に至る約 36.0km の区間において 98 点の発震点が確保された。この近江盆地内の発震区間では 1000m 未満の深度である先新第三系花崗岩基盤面を把握することが目的とされ、ホールダウンウェイトに対する制御出力を 80%として 10 回以上のスイープを行うことを標準仕様とした。しかしながら、調査測線近傍の建造物、構築物、路面強度及び埋設管設置状況についての保安上の配慮から、標準発震エネルギーを確保できた発震点は約 53%に過ぎなかった。バイブレータのアレイパターンについては、100m の範囲内で適宜移動を行った。

近江盆地西縁から鈴鹿山地にかけての地域では、白亜系湖東流紋岩類、二疊系砂岩、同石灰岩及び同チャート類がパッチ状に分布していることから、発震エネルギーの減衰は小さい。従って、広域屈折法及び広角反射法によっては解像度が期待できない深度 15km 程度までの上部地殻の構造把握を目的とし

て、約 1000m 間隔の低重合発震点 12 点を選点し、40-80 スウィープ/VP の準集中発震を行った。また、この区間のスウィープ周波数は京都測線の低重合発震区間と同様に 6-30Hz とした。尚、この低重合発震区間は国道 306 号線沿いに位置し、周辺の石灰岩を採取する採石場に出入りする大型車両の通行が比較的多く、保安要件が確保できる退避スペースを中心に発震点が設定された。下記に、発震種別の受振器展開区間を記述する。

- ・ 湖東表層補正発震データ取得 (VP. 4005. 0-4195. 0)
展開区間…… 展開長 12. 0km
Loc. 4001-4240 (湖東有線展開)
- ・ 標準発震データ取得 (VP. 4204. 5-5161. 0)
展開区間…… 展開長 62. 0km
Loc. 4001-4578 (湖東有線展開)、 Loc. 5001-6116 (近江濃尾独立型展開)
- ・ 低重合発震データ取得 (VP. 5181. 5-5441. 0)
展開区間…… 展開長 62. 0km
Loc. 4001-4578 (湖東有線展開)、 Loc. 5001-6116 (近江濃尾独立型展開)

iii) 反射法近江-濃尾バイブレータ測線東部

反射法近江-濃尾バイブレータ測線の東部地域では、鈴鹿山地東縁断層及び養老断層系の詳細構造の把握が主たる調査目的として設定された。全区間において大型バイブレータ 4 台による発震点が約 150m 間隔で計 172 点確保されると共に、養老断層横断区間においては小型バイブレータ 1 台による稠密発震点が約 25m 間隔で計 101 点確保された。標準発震点に関しては、他の測線と同様にホールドダウンウェイトに対する制御出力を 80% として 12-16 回のスウィープを行うことを標準仕様としたが、以下の発震区間においては状況に応じて発震仕様及び工程の変更を行った。

- ・ 鈴鹿東縁断層横断区間 (Loc. 5504-5547) …… 三重県いなべ市藤原町山口周辺の鈴鹿東縁断層横断区間では発震点間隔を、測線近傍の構造物及び構築物が無い区間において 50. 0m に設定し、さらに浅層部における分解能の向上を目的として発震台数を 2 台程度に低減した。
- ・ 三重県いなべ市藤原町及び北勢町の平野部区間 (Loc. 5575-5697) …… この区間においては精密機器工場が測線沿いに点在し、周辺のオフセット発震可能箇所を勘案しても、一部において 500-1000m に互る発震点欠落を余儀なくされた。
- ・ 養老山地横断区間 (Loc. 5715-5823) …… この区間では調査測線は県道 25 号南濃北勢線沿いに設定されたが、道路幅 6. 0-6. 5m の狭隘箇所が連続すると共に、養老山地西側の北勢町二之瀬に位置する大規模採石場周辺を通行する大型車両が多いため、平成 10 月 27 日 20 時～24 時に準夜間発震を実施した。また、養老山地東側において測線が屈曲し、傾斜角度の大きい区間 (Loc. 5775-5798) においては全発震点を県道の退避スペースに選定した。
- ・ 養老断層横断区間 (Loc. 5823-5966) …… この区間では測線近傍の建造物、構築物、路面強度及び埋設管設置状況を勘案し、発震出力及び発震台数を調整の上、大型バイブレータによって間隔 25m の稠密発震を実施した。しかし、養老断層地表位置近傍の約 2. 5km の箇所は岐阜県海津市南濃町庭田及び徳田地区の民家密集地、近鉄養老線及び津屋川の横断区間に相当することから小型バイブレータを採用し、計 101 点の発震点を確保した。
- ・ 濃尾平野軟弱地盤区間 (Loc. 5998-6107) …… 測線東部の揖斐川-長良川間の低地帯では、軟弱地盤の影響

響によって 10Hz 以下の低周波数帯域における応答特性の低下が顕著であったため、スウィープ周波数を 8-40Hz (Taper. . 500msec) に変更し、発震カップリングの改善を行った。

下記に、発震種別の受振器展開区間を記述する。

- 標準発震データ取得 (VP. 4204. 5-5161. 0)
展開区間…… 展開長 41. 0km
Loc. 7001-7040 (濃尾モニター有線展開)、Loc. 5001-6116 (近江濃尾独立型展開)
- 養老断層横断高分解能発震データ取得 (VP. 5823. 0-5980. 5)
展開区間…… 展開長 41. 0km
Loc. 7001-7040 (濃尾モニター有線展開)、Loc. 5001-6116 (近江濃尾独立型展開)

iv) 屈折法近江-濃尾バイブレーション測線

近江-濃尾測線の屈折法バイブレーション集中発震点は、近江盆地内の 3 点と濃尾平野内の 2 点の計 5 点である。以下に、全集中発震点の概要を記述する。

- SP-5V… 滋賀県近江八幡市津田町 近江八幡市運動公園体育館西側 (Loc. 4203)
発震回数… 200 回 (発震台数. . 4 台)
発震時刻… 平成 18 年 10 月 14 日 22 時 27 分～10 月 15 日 1 時 13 分
展開区間… Loc. 2001-2302 (湖西有線展開)、Loc. 4001-4578 (湖東有線展開)、
Loc. 3001-3196 (琵琶湖展開)、Loc. 5001-5540 (近江-鈴鹿独立型展開)
- SP-6V… 滋賀県東近江市山路町 県道 194 号伊庭丸山線沿い (Loc. 4417)
発震回数… 100 回 (発震台数. . 4 台)
発震時刻… 平成 18 年 10 月 14 日 20 時 13 分～10 月 14 日 21 時 45 分
展開区間… Loc. 2001-2302 (湖西有線展開)、Loc. 4001-4578 (湖東有線展開)、
Loc. 3001-3196 (琵琶湖展開)、Loc. 5001-5540 (近江-鈴鹿独立型展開)
- SP-7V… 滋賀県愛知郡愛荘町目加田 県道 221 号目加田湖東線沿い (Loc. 5048)
発震回数… 200 回 (発震台数. . 4 台)
発震時刻… 平成 18 年 10 月 21 日 20 時 32 分～10 月 21 日 23 時 16 分
展開区間… Loc. 4001-4578 (湖東有線展開)、Loc. 5001-6116 (近江-濃尾独立型展開)
- SP-11V… 岐阜県海津市南濃町徳田
発震回数… 200 回 (発震台数. . 4 台)
発震時刻… 平成 18 年 10 月 28 日 20 時 27 分～10 月 28 日 23 時 02 分
展開区間… Loc. 7001-7040 (濃尾有線展開)、Loc. 5001-6116 (近江-濃尾独立型展開)
- SP-12V… 岐阜県海津市海津町大和田 東海大橋南長良川-木曾川中洲
発震回数… 300 回 (発震台数. . 4 台)
発震時刻… 平成 18 年 10 月 29 日 00 時 14 分～10 月 29 日 04 時 06 分
展開区間… Loc. 7001-7040 (濃尾有線展開)、Loc. 5001-6116 (近江-濃尾独立型展開)

屈折法発震においては、反射法発震よりもさらに 30Hz 以下の低周波数帯域におけるエネルギー確保を目的として、スウィープ周波数 6-30Hz 及びスウィープ長 24 秒が採用された。近江盆地の市街地内における集中発震点 SP-5V、SP-6V、SP-7V 及び養老山地東麓の集中発震点 SP-11V では 20 時以降の準夜間に発震作業が実施され、調査測線東端の長良川-木曾川中洲に位置する集中発震点 SP-12V では午前 0 時以

降の深夜に発震作業が実施された。図 11 は、全調査測線におけるバックグラウンドノイズの時間及び空間変化を示したものである。琵琶湖西岸の湖西地域(Loc. 2073-2302)、近江盆地地域(Loc. 4001-4578)及び濃尾平野地域(Loc. 5851-6116)等の市街地区間では、20 時-5 時までの夜間の平均ノイズレベルは、9 時-17 時の昼間と比較して 12~24dB 平均値が低いことから、準夜間及び深夜の発震作業は有効であったことが示唆される。

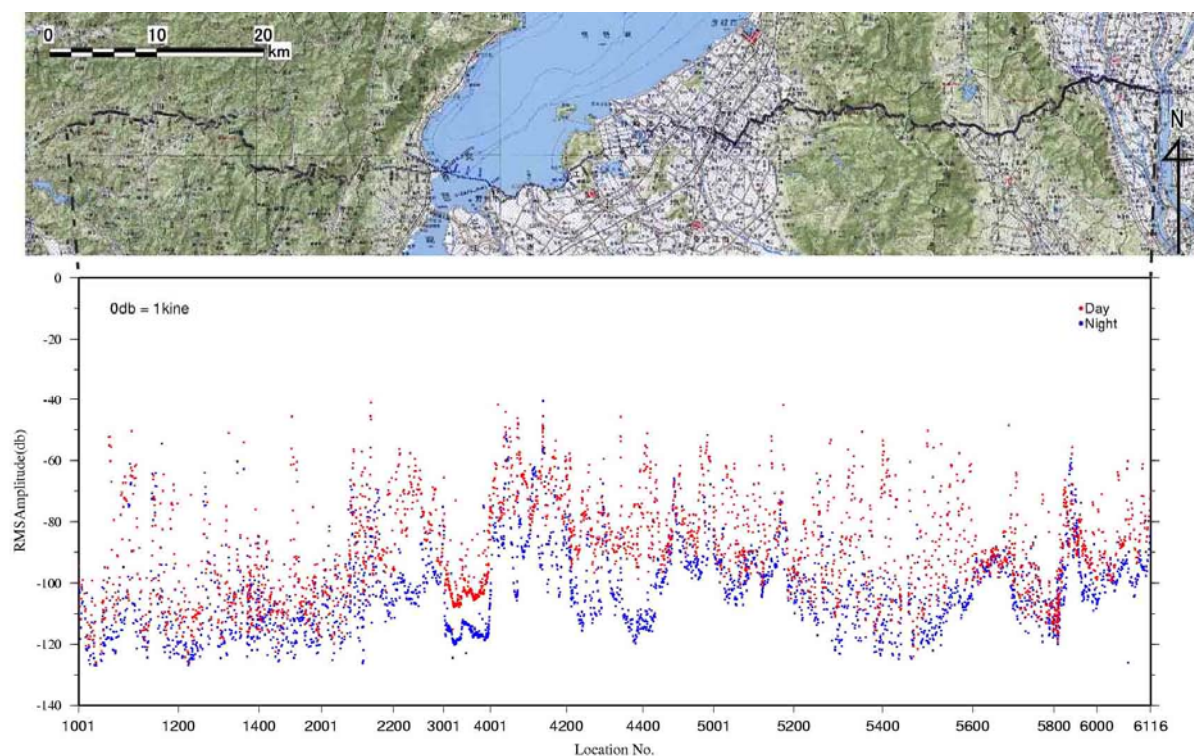


図 11 バックグラウンドノイズの時間及び空間変化

現地でのバイブレータ発震作業状況については、図 12、 13 に現場写真を示した。



図 12 バイブレータ発震作業状況[1] VP. 1475 京都市右京区京北芹生町地区の灰屋川沿い村山林道。この地点において平成 18 年 10 月 6 日にバイブレータ発震現地見学会を実施。



図 13 バイブレータ発震作業状況[2] VP. 4359 近江盆地大中土地改良区農道。この区間では、一般車両の進入規制があり、舗装強度あるいは埋設管の存在確認等の十分な事前準備が必要であった。

e) データ取得内容（エアガン発震作業）

湖東地域における近江-濃尾測線屈折法バイブレータ発震(SP-5V、6V)での観測作業終了後、琵琶湖横断区間のG-DAPS-Crocodileシステムのバッテリー交換及びエアガン震源のテスト発震作業を経て、平成18年10月16日にエアガン屈折法発震作業(SP-4A)が実施され、翌17日にエアガン反射法発震作業(SP. 3001-3215)が実施された。使用したエアガン震源は、相互干渉型エアガン(ガン容量 1500cu. in.、発震圧力 2000psi)であり、喫水 2.5m、区画 30m×16m の作業台船に航測システムと共に艀装された。屈折法及び反射法共に、展開長 66.9km(受振点数 1928 点)の湖底展開でデータが取得された。図 14 に本調査で使用された相互干渉型エアガンのアレイ構成を示す。

屈折法発震作業においては 40Hz 以下の低周波数帯域の有効エネルギーを確保するため、パラメータテストの結果、発震深度は 16.0m とされ、滋賀県大津市和邇南浜沖合 560m の水深 25.0m 地点に設定された。発震作業が実施された平成 18 年 10 月 16 日は低気圧の通過に伴う波浪が強く、作業台船の曳航に必要な反射法発震作業は翌日に延期され、屈折法発震作業が午前中継続された(午前 6 時 18 分～午後 12 時 22 分)。合計発震回数(垂直重合回数)は 300 回に達した。

反射法発震作業における発震深度に関しては、琵琶湖横断区間(滋賀県大津市和邇南浜-同野洲市吉川マイアミ浜)では 6.0m、陸域受振測線に平行なオフセット発震区間(滋賀県野洲市菖蒲-同近江八幡市長命寺)では水深が 7.0～11.0m となることから、4.0m に設定された。反射法データ取得での発震点間隔は 50.0m とされたが、湖東地域における陸域受振測線のノイズレベルがバイブレータ発震作業を通じて相当に高いことが確認されたため、滋賀県近江八幡市日野川-白鳥川河口周辺の約 2.45km の区間においては 25.0m 間隔の発震作業が追加して実施された。総発震点数 249 点の内、この追加発震分は 49 点である。反射法発震作業には発震台船の曳航による連続発震、航測システムによる予定測線への誘導及び発震点座標の計測が伴うことから、無線を使用した詳細な発震テスト、DGPS 補正信号の受信状況確認等を経て、発震船と陸上観測車間の時間同期が確定された。図 15 にエアガン発震のダイアグラムに関する模式図を示す。エアガン発震作業状況については、図 16-19 に現場写真を示した。

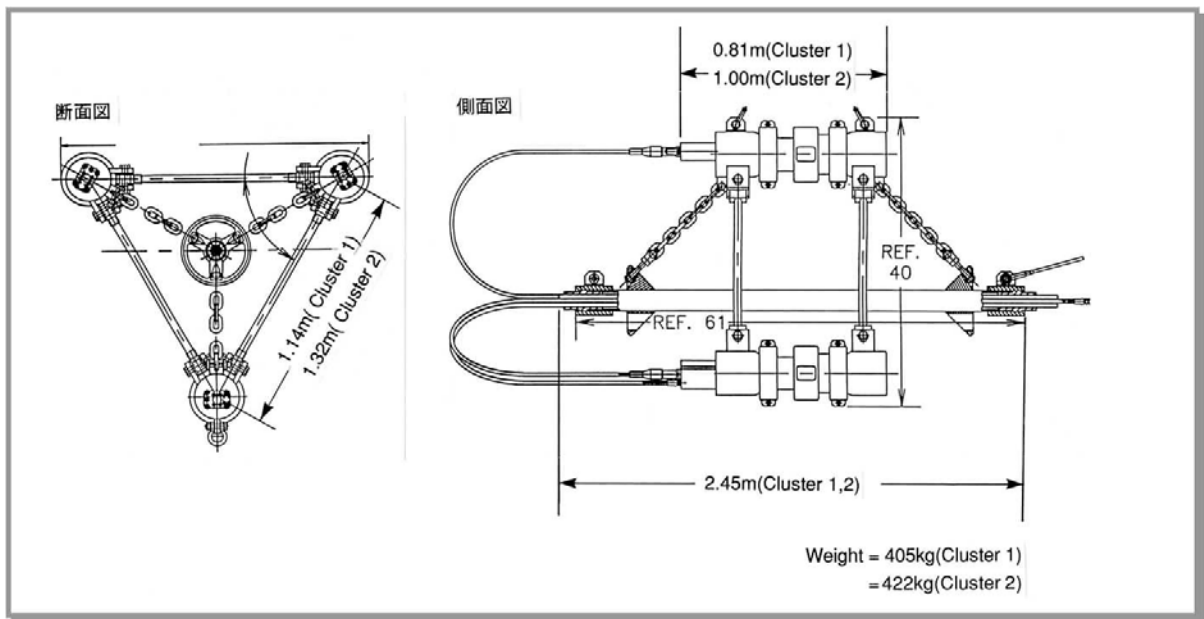


図 14 エアガンアレイ構成

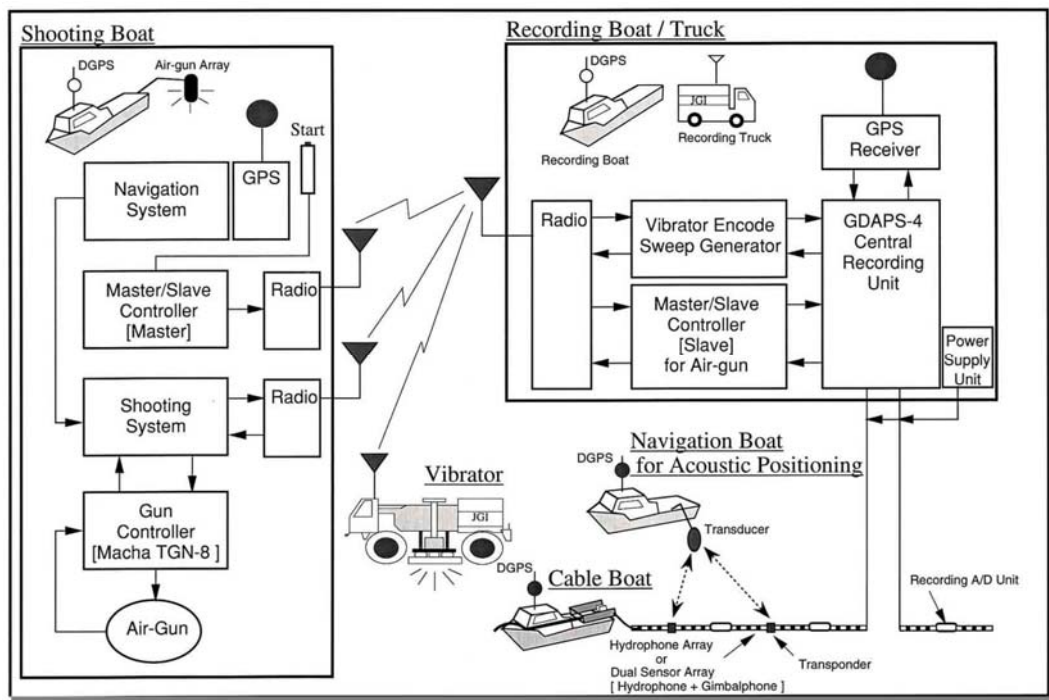


図 15 バイブレータ及びエアガン発震ダイアグラム

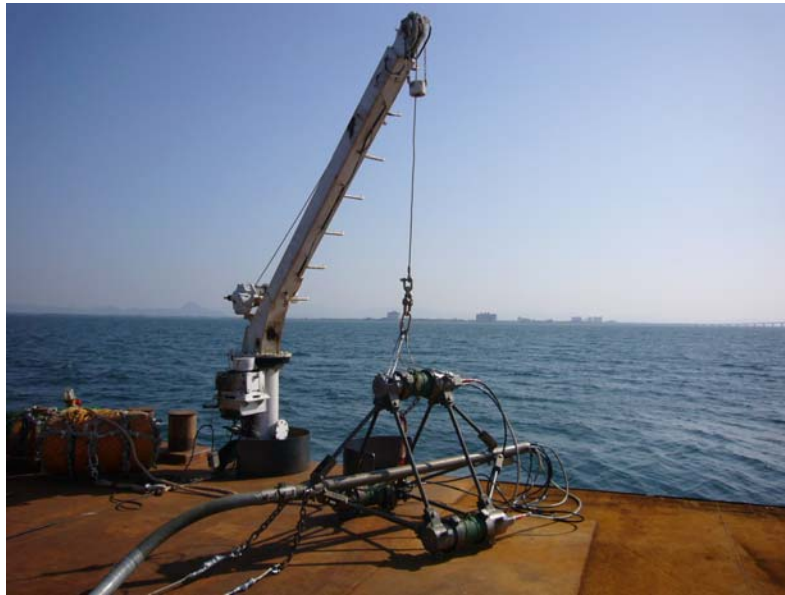


図 16 米国 Bolt 社製トリガン型エアガン。同一容量を持つ単ガンを三角フレームに固定して斉一発震し、射出パターンを含めた相互干渉によってバブルが抑制される。



図 17 反射法エアガン発震作業[1] 滋賀県近江八幡市沖島を望む。標準発震点間隔は 50m である。



図 18 反射法エアガン発震作業[2] 湖西地域の比良山地を望む。

3) 調査仕様

反射法及び屈折法データ取得作業に関して、調査仕様の一覧を表1、2に示す。

表1 大都市圏地殻構造探査近江測線 データ取得仕様一覧 [1]

調査項目/測定諸元	反射法地震探査(低重合発震を含む)			
調査測線	京都測線	近江・濃尾測線	湖東表層補正発震	琵琶湖測線
調査順	Phase-1	Phase-2/Phase-6	Phase-5	Phase-3
測線長(発震区間)	55.0km(道路沿い)	89.6km(道路沿い)	12.1km(道路沿い)	11.0km
調査測線位置概要(発震区間)	京都府南丹市日吉町生畑から東方向に京都市右京区京北灰屋町,同左京区花背峠,百井峠,比良山地を経て琵琶湖西岸の滋賀県大津市和邇南浜に達する。京都北山地域では狭隘な林道,地方道及び林業作業路にも測線を設定。	滋賀県湖東地域から国道306号線沿いに鈴鹿山地を越えて、鞍掛峠を経て三重県いなべ市藤原町に至り、さらに養老山地を越えて、濃尾平野の西端部に位置する岐阜県海津市海津町大和田に達する。	琵琶湖内におけるエアガン稠密発震測線が約800・2000m T-オフセットを持つ県道559号近江八幡大津線(さざなみ街道)南側の農道区間(滋賀県野洲市吉川・同近江八幡市長命寺間)。	湖底受振ケーブル測線と平行する滋賀県大津市和邇南浜から同近江八幡市長命寺の4.9kmの発震区間と、陸域受振測線に平行な滋賀県野洲市菖蒲から同近江八幡市長命寺までのオフセット発震区間6.1kmで測定作業を実施。
発震系パラメータ				
震源	パイプレータ(含HEMI)	パイプレータ(含HEMI)	パイプレータ(含HEMI)	エアガン(相互干渉型)
ダイナマイト発震薬量	-	-	-	-
エアガン発震深度	-	-	-	4.0-6.0m
エアガン容量及び圧力	-	-	-	1500cu.in./2000psi
パイプレータ台数	4台	4台	1台	-
標準発震点間隔(標準発震)	100-150m	100-150m	500m	25-50m
標準発震点間隔(低重合発震)	1000m	1000m	-	-
スweep長(標準発震)	20 sec	20 sec	20 sec	-
スweep長(低重合発震)	24 sec	24 sec	-	-
ダイナマイト発震孔深度	-	-	-	-
標準発震回数/発震点	16回	16回	5・10回	1回
スweep周波数(標準発震)	6~40Hz	6~40Hz	6~40Hz	-
スweep周波数(低重合発震)	6~30Hz	6~30Hz	-	-
総発震点数	108点	282点	16点	249点
受振系パラメータ				
受振点間隔	50m(陸域),25m(琵琶湖)	50m(陸域),25m(琵琶湖)	50m(陸域)	50m(陸域),25m(琵琶湖)
受振器種別	SM-7/SM-24(10Hz), P350(10Hz)			
受振器数/受振点	3・9個組(陸域),Single(琵琶湖横断区間)			
展開パターン	固定展開	固定展開	固定展開	固定展開
展開長	47.9km	41.0-62.0km	12.0km	66.9km
受振測線長(GDAPS-4A)	20.9km	36.9km	12.0km	36.9km
受振点数(GDAPS-4A)	738点	1076点	240点	1076点
受振測線長(MS2000D)	27.0km	41.0km	-	30.0km
受振点数(MS2000D)	564点	1116点	-	852点
総受振点数	1300点	2192点	-	1928点
記録系パラメータ				
GDAPS-4A/GDAPS-Crocodile (有線テレメトリーシステム)				
サンプリングレート	4msec	4msec	4msec	4msec
プリアンプゲイン	30dB	30dB	30dB	30dB
記録長	16-20sec	16-20sec	16sec	16sec
独立型記録システム				
サンプリングレート	4msec	4msec	-	4msec
記録長	連続観測(データ取得後に編集作業を実施)			

表2 大都市圏地殻構造探査近江測線 データ取得仕様一覧 [2]

調査項目/測定諸元	高分解能反射法地震探査	屈折法及び広角反射法地震探査			
調査測線	近江・濃尾測線	屈折法バイブレータ測線	屈折法エアガン測線	屈折法ダイナマイト測線	
調査順	Phase-6	Phase-2,5,6	Phase-3	Phase-4	
測線長(発震区間)	4.5km(道路沿い)	41.0-62.0km(投影展開長)	66.9km(投影展開長)	101.0km(投影展開長)	
調査測線位置概要(発震区間)	県道25号南濃北勢線沿いの岐阜県海津市南濃町庭田及び徳田地区から、津屋川以東の低地帯では岐阜県養老郡養老町大巻及び駒野新田地区の農道沿いに掛斐川に至る。	受振器展開区間は、京都北山東部から比良山地、琵琶湖及び近江盆地を経て鈴鹿山地東縁に至る区間[近江盆地集中発震点]、近江盆地東部から鈴鹿山地及び養老山地を経て濃尾平野に至る区間[濃尾平野集中発震点]。	受振器展開区間は、京都北山地域の京都市右京区京北下黒田町から比良山地、琵琶湖及び近江盆地を横断して鈴鹿山地東縁の三重県いなべ市藤原町本郷に至る区間。	受振器展開区間は全区間(バイブレータ反射法京都測線+バイブレータ反射法近江・濃尾測線+エアガン反射法琵琶湖測線)	
発震系パラメータ					
震源	小型バイブレータ	バイブレータ (HEMI)	エアガン(相互干渉型)	ダイナマイト(海底発破用)	
ダイナマイト発震薬量	-	-	-	100kg(SP-2D,3D,8D,9D) 200kg(SP-1D,10D)	
エアガン発震深度	-	-	16.0m		
エアガン容量及び圧力	-	-	1500cu.in./2000psi		
バイブレータ台数	1台	4台	-	-	
標準発震点間隔(標準発震)	25m	-	-	-	
標準発震点間隔(低重合発震)	-	-	-	-	
スweep長(標準発震)	20 sec	24 sec	-	-	
スweep長(低重合発震)	-	-	-	-	
ダイナマイト発震孔深度	-	-	-	35.0-45.0m	
標準発震回数/発震点	6回	100回(SP-6V),300回(SP-12V) 200回(SP-5V,7V,11V)	300回(SP-4A)	-	
スweep周波数(標準発震)	8~60Hz	6~30Hz	-	-	
スweep周波数(低重合発震)	-	-	-	-	
総発震点数	101点	5点	1点	6点	
受振系パラメータ					
受振点間隔	25m(原則)	50m(陸域),25m(琵琶湖)	50m(陸域),25m(琵琶湖)	50m(陸域),25m(琵琶湖)	
受振器種別	SM-7/SM-24(10Hz)	SM-7/SM-24(10Hz), P350(10Hz)			
受振器数/受振点	3-9個組	3-9個組(陸域),Single(琵琶湖横断区間)			
展開パターン	固定展開	固定展開	固定展開	固定展開	
展開長	41.0km	62.0km	66.9km	101.0km	
受振測線長(GDAPS-4A)	2.0km	21.0km	36.9km	33.0km	
受振点数(GDAPS-4A)	40点	578点	1076点	1076点	
受振測線長(MS2000D)	41.0km	41.0km	30.0km	68.0km	
受振点数(MS2000D)	1116点	1116点	852点	1680点	
総受振点数	1136点	1694点	1928点	2756点	
記録系パラメータ					
GDAPS-4A/GDAPS-Crocodile (有線テレメトリーシステム)					
サンプリングレート	4msec	4msec	4msec	4msec	
プリアンプゲイン	30dB	30dB	30dB	30dB	
記録長	8sec	20sec	20sec	54sec	
独立型記録システム					
サンプリングレート	4msec	4msec			
記録長		連続観測(データ取得後に編集作業を実施)			