

兵庫教育大学における地震教材の開発と実践

The Development of Teaching Materials at Hyogo University of Teacher Education for Earthquakes

竹村厚司* 竹村静夫**
TAKEMURA Atsushi TAKEMURA Shizuo

筆者らは兵庫教育大学において、学校教育学部での授業や小・中学校教員向け講習で地震に関する実習を行っている。本学の学生や兵庫県の教員は、多くが高校や大学で地学分野の科目を履修していないため、地震現象に関する知識について乏しい場合が多い。そこで筆者らは、実際の地震のデータなどから独自の地震教材を開発し、授業や講習で使用している。本研究ではこの地震教材の内容について紹介する。

キーワード：地震，教材開発，学校教育学部，教員講習

Key words : earthquake, development of teaching materials, undergraduate students, teachers' workshop

はじめに

近年日本列島では地震災害が頻発し、過去10年間に、2万人近い犠牲者を出した2011年の東北地方太平洋沖地震をはじめとして、死者・負傷者が出た人的被害を伴った地震は約70回を数える（気象庁ウェブサイトによる）。近畿地方ではこのところの地震被害は少ないが、1995年には死者6434人の兵庫県南部地震があり、歴史的に見ても1946年の南海地震や1927年の北丹後地震など、大規模な地震災害が繰り返し起こっている。日本列島には自然災害は大変多いが、その中でも地震災害は、現在のところ予知が不可能であり、地震によって起こる多様な災害の多くを防ぐことが困難なため、我々が最も備えるべき自然災害の一つである。

教育現場では防災教育の観点などから、授業において繰り返し地震現象が教えられる。地震は小学校では6年生、中学校では主に1年生の理科で学ぶ。また、中学校3年生でも理科の環境の単元で、地震災害について学習する。その後、高等学校では「地学基礎」や「地学」で地震現象やそのメカニズムについて学ぶが、高校での「地学基礎」「地学」の履修率は低く、特に兵庫県では多くの高校で地学関係の科目は開講されていない。そのため多くの場合、地震を含む固体地球科学分野の学習は中学校1年（12～13歳）にとどまり、地球環境に関する知識の定着や理解に乏しい傾向がある。

日本列島はプレート境界に位置する地震帯にあるため、地震現象に関する知識や地震のメカニズムについてのある程度の理解は必須のものであると考える。現に、テレビなどではしばしば番組中に地震速報がテロップで流れるのは、ほとんどの国民にとって周知の事実である。ま

た、大規模な地震の場合には、テレビやラジオ、そして携帯電話やスマートフォンを通じて緊急地震速報が伝達されることも、多くの国民が経験している。しかし、被害の原因となる地震波の伝搬や緊急地震速報の仕組み、地震のメカニズムなど、高等学校以降での地学科目の未履修のために、一般にはあまり理解が進んでいない。

兵庫教育大学自然系では、理科の地学分野において地震波形を読み取り、そこから震源・震央の決定、地震波の伝搬の仕方などを学ぶ教材を作成し、学校教育学部の教育に利用している。また、同じ教材を教員免許状更新講習や教員研修にも利用し、小・中学校の教員の力量の向上に努めている。教員も学生と同様、高校以上ではほとんど地学分野の科目を履修していないため、地震現象やそのメカニズム、地震災害とその原因等に関する知識は乏しいと思われる。本論では兵庫教育大で作成している地震教材を解説し、それをを用いた学部の授業や教員向け講習等について紹介する。

現在の教育課程における地震現象の取り扱い

現在の日本の教育課程では、地震について初めて学ぶのは小学校6年生においてである。小学校3年生からの理科の地学分野の内容を見ると、3年生では「太陽と地面の様子」、4年生では「天気の様子」、「月と星」の内容があり、これらは5年生の「天気の変化」、6年生の「月と太陽」につながる。固体地球に関する内容は5年生の「流水の働き」に始まり、6年生では「土地のつくりと変化」の内容を学ぶ（文部科学省、2008a）。この単元において地震や火山活動で土地の様子が変化することを学び、地震災害についても学習する。

* 兵庫教育大学大学院教科教育実践開発専攻理数系教育コース 教授

平成29年4月25日受理

** 兵庫教育大学大学院教科教育実践開発専攻理数系教育コース 准教授

中学校では1年生で「大地の成り立ちと変化」について学習する。このうち地震については、中学校学習指導要領（文部科学省，2008b）では「地震の伝わり方と地球内部の働き」として、『地震の体験や記録を基に，その揺れの大きさや伝わり方の規則性に気付くとともに，地震の原因を地球内部の働きと関連付けてとらえ，地震に伴う土地の変化の様子を理解すること』とされている。さらにこの内容の取り扱いについて、『地震の現象面を中心に取り扱い，初期微動継続時間と震源までの距離との定性的な関係にも触れること。また，「地球内部の働き」については，日本付近のプレートの動きを扱うこと』とされ，震源や震央，P波やS波，震度やマグニチュード，断層や活断層等の基本的概念が登場する。その上で，地震による様々な現象や地震災害，さらには地震を引き起こす地殻変動や，地球内部の原動力であるプレートテクトニクスについても学習する。

中学校3年生の理科では，環境分野の「自然の恵みと災害」において様々な自然災害について触れられている。ここでは主に地震災害，火山災害，気象災害について学ぶが，これは地球上でもこれらの自然災害の頻発する日本列島では重要な内容であると考えられる。

高等学校では，「地学基礎」「地学」の科目で地震について学ぶ。「地学基礎」では変動する地球の内容中で，「火山活動と地震」について『火山活動と地震の発生の仕組みについて理解すること』とされている（文部科学省，2009）。その取り扱いについては，『「地震の発生の仕組み」については，プレートの収束境界における地震を中心に扱うこと』とされているため，海溝型地震や内陸型地震の発生の仕組みについて触れられている。また，

最近一般にも知られている長周期地震動の原因の表面波や，本震・余震などの用語も「地学基礎」で学ぶ。さらに，地震波の観測を基にした震源の決定の方法，地震発生のメカニズムについて学習する。そして高等学校の「地学」では「地学基礎」での学習を基本として，『プレート境界における地震活動の特徴とそれに伴う地殻変動などについて理解すること』とされている。

しかしながら，現在の日本の高等学校で「地学基礎」さらには「地学」を履修している生徒は少数である。例えば，兵庫教育大学で毎年開講している「生命と地球の科学」の授業で，本年（平成29年：2017年）4月14日の第一回目の講義で高校で履修した理科の科目についてアンケートを取ったところ，全回答者61名中，「地学基礎」の履修者は14名（23%），「地学」の履修者は1名だけであった。多くの学生は高校で「地学基礎」を履修していないため，固体地球科学としての地震に関する学習はほぼ中学校1年生段階で終わっており，基本的な知識の定着や地震現象に関する理解には問題点も多い。そこで，兵庫教育大学では地震波やその伝搬，震源の決定といった地震現象の基本に関する独自教材を作成している。

兵庫教育大学における地震教材

兵庫教育大学で作成・使用している地震教材を図1～9に示す。これらは筆者の一人竹村静夫が独自に作成したものである。この教材では，一つの練習問題と三つの課題を作成しており，これらを順に行うことで地震現象の理解の深化を目指している。

・震源位置決定の練習問題（図1）

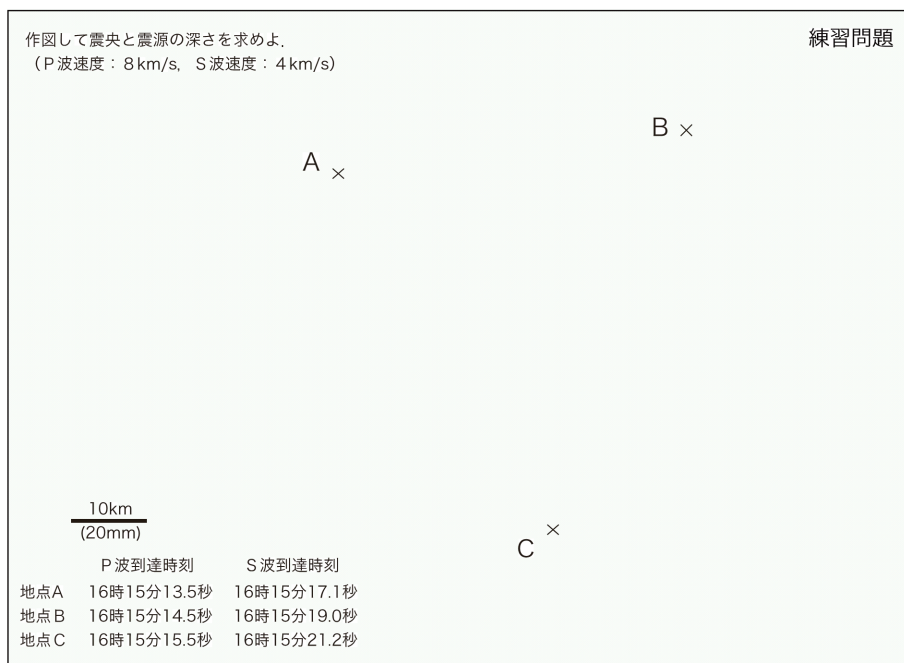


図1. 震源位置決定の練習問題.

各地の地震計による地震波の観測により、地震の震央の位置と震源の深さが決定されている。この原理は高等学校「地学基礎」で学習するが、これは中学校で学ぶ初期微動継続時間と四則計算、作図によって求められる難度の低い課題である。この練習問題では地図上の3点のP波・S波の到達時刻を与え、それらの初期微動継続時間から、大森公式によって各点からの震源距離を求め、コンパスと定規による作図で震央の位置と震源の深さを求める。その具体的方法は、例えば磯崎・江里口ほか(2011)や小川ほか(2012)などの高等学校「地学基礎」教科書に解説されている。なお、この例題は最初の練習であるため、計算しやすいP波・S波速度を与えている。

・課題1～3の説明(図2)

上記の練習問題によって震央・震源の位置決定の原理や方法を理解した後、実際の地点や観測された本当の地震に基づく課題を行う。図2は、その課題1～3(図3～図9)の作業の説明のプリントである。

<p>課題1</p> <p>資料1に記された都市の名前を全て白地図上(地図1)に記入した上で、任意の観測点を1組選び、作図により震央と震源の深さを求めよ。ただし、地震波速度は$V_p=5.4\text{km/s}$、$V_s=3.2\text{km/s}$とせよ。</p> <p>課題2</p> <p>1) 地図2Aには2001年3月24日に起こった芸予地震($M=6.4$)の各地の震度が書かれている。各地の震度を地図に記入しておおよその等震度線を描け。</p> <p>2) 資料2は本震の約20分後に起こった芸予地震の余震($M=4.2$)を観測した各地の地震計(強震計:南北方向)の記録である。地名を全て白地図(地図2B)に記入した上で、任意の観測点を2組選び、作図により震央と震源の深さを求めよ。ただし、地震波速度は$V_p=6.31\sim 6.71\text{km/s}$、$V_s=3.54\sim 3.94\text{km/s}$とせよ。また、震源が作図で決定できない時はその理由を考察せよ。</p> <p>課題3</p> <p>資料3は2003年5月3日午前9時台の各地の地震計(高感度地震観測施設)の記録である。これらには中国地方を震源とし、9時半過ぎに発生した地震($M=4.0$)が観測されている。</p> <p>1) 地震の発生時刻を午前9時31分51.0秒、東条(兵庫県加東市)の観測点からの震源距離を210.0kmと仮定した時のP波とS波の速度を求めよ。ただし、地震波の到達時刻はP波については資料3から読み取り、S波の到達時刻は午前9時32分47.9秒とせよ。</p> <p>2) 資料3の観測点(○)から東条以外の地点を任意に選び、上で求めた地震波速度を使って作図により、震央と震源の深さを求めよ(地図3を使用)。また、震源が作図で決定できない時はその理由を考察せよ。</p> <p>3) 資料3の全ての観測点に初めて地震波が到達した時刻を読み取れ。また、地図3の右にも同一の地震で各観測点(●)に初めて地震波が到達した時刻が示されている。以上の全ての時刻を地図3に記入し、5秒ごとの等時刻線を描け。</p>

図2. 課題1～3の作業の説明。

・課題1(図3, 4)

課題1は、資料1(図3)に示された各都市の地震波形から、地図1(図4)において、練習問題(図1)の作図の方法により震央と震源の深さを求める問題である。

資料1の地震波形は架空のもので、初期微動継続時間を解読しやすいよう、初期微動と主要動の始まりを容易に識別できるように作成している。またP波・S波速度は課題の説明中で与えている。地図1(図4)には資料1にある近畿地方から中部地方の10の県庁所在地都市の位置を点で示している。この中から3地点を選んで作図を行うが、地点の選び方によっては震央が求まらず、予想される震央の位置を囲む3地点を選ぶ必要がある。当初は白地図のみであったが、近年の学生は地理や地図の知識に乏しいため、これらの県庁所在地の位置や県名も知らない場合が多く、位置の点を地図1に記している。

・課題2(図5～7)

課題2は、実際に過去に起こった地震のデータと波形に基づく問題である。地図2A(図5)に各地の震度を示す地震は、2001年3月24日に発生した平成13年芸予地震である。震央は瀬戸内海西部の安芸灘、マグニチュードは6.7、最大震度6弱で、死者2名、負傷者288名の大きな被害が出た(気象庁ホームページによる)。この地震による各都市の震度を地図2A(図5)に示す。資料2(図6)には、本震の20分後に起こった余震の各地の地震波形(加速度波形、防災科学技術研究所強震観測網(K-NET)ホームページによる)を示し、それらの地点を示した白地図が地図2B(図7)である。

課題2では、まず1)で地図2A(図5)に各都市の位置と震度を記入し、そこからおおよその等震度線を描く。次に2)では、資料2(図6)の地震波形から各地における初期微動継続時間を読み取り、P波・S波速度を与えて大森公式より各地からの震源距離を求める。そこから練習問題(図1)の作図の方法により、地図2B(図7)上で震央と震源の深さを決める問題である。

・課題3(図8, 9)

課題3も実際の地震に基づく問題である。この地震は2003年5月3日の午前9時30分頃に中国地方で起こったマグニチュード4.0のもので、資料3(図8)には西日本の9地点の地震波形(速度波形、防災科学技術研究所高感度地震観測網(Hi-net)ホームページによる)を示している。地図3(図9)はそれらの地点を含む西日本の地図で、図の右側には資料3の9地点以外に35地点でのP波到達時刻が記されている。例えば仁多(島根県仁多郡奥出雲町)に地震が到達したのは午前9時31分56.0秒で、資料3の9地点は地震波形から読み取れる。

課題3はまず1)で、資料3(図8)の東条(兵庫県加東市)の観測点の地震波形からP波到達時刻を読み取り、課題の説明(図2)に記す地震発生時刻や震源距離、S波到達時刻などの条件に従ってP波・S波速度を求める。資料3(図8)の地震波形の読み取り方は、防災科

資料1

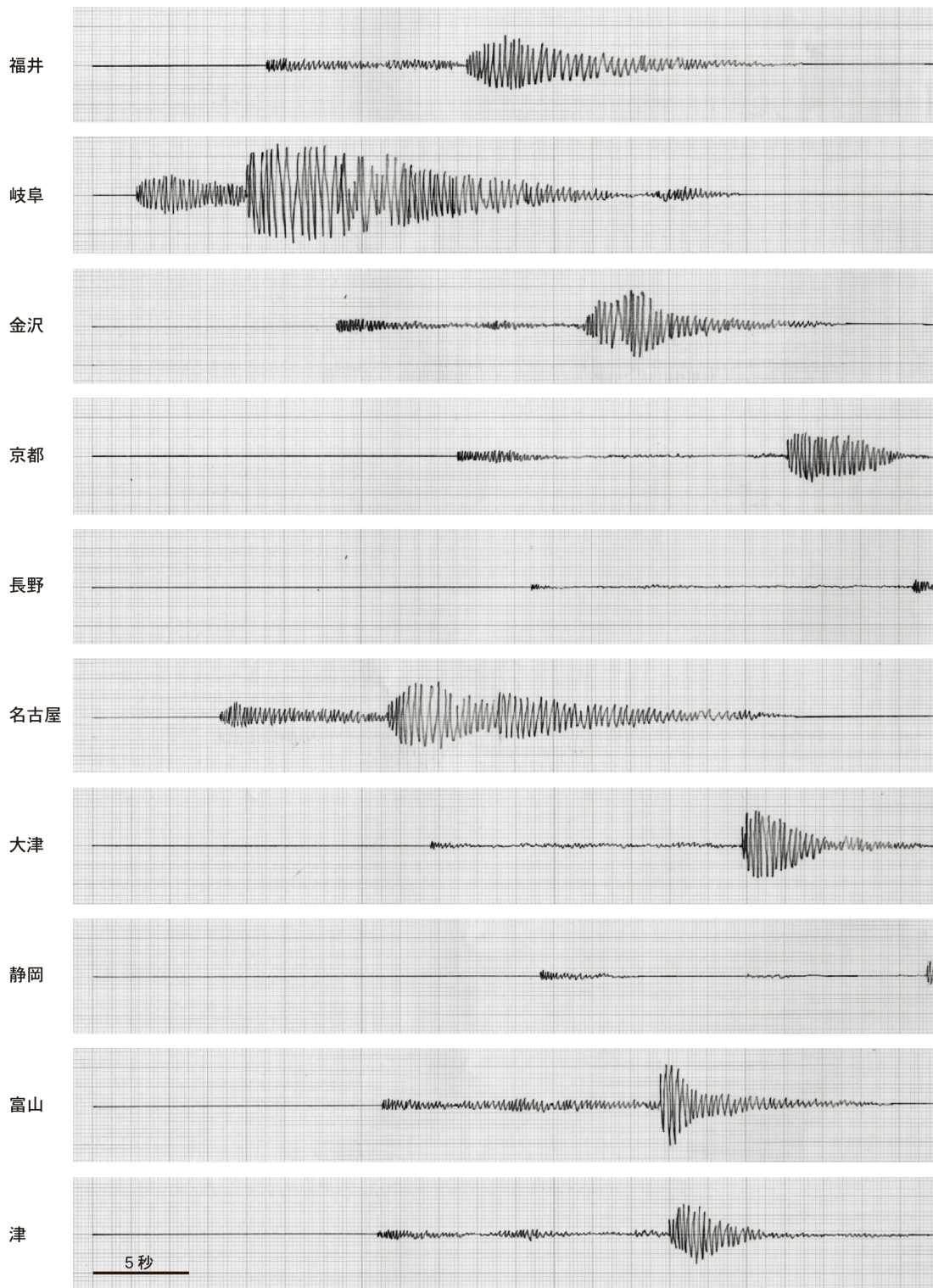


図3. 資料1 (課題1). 各都市の架空の地震波形.

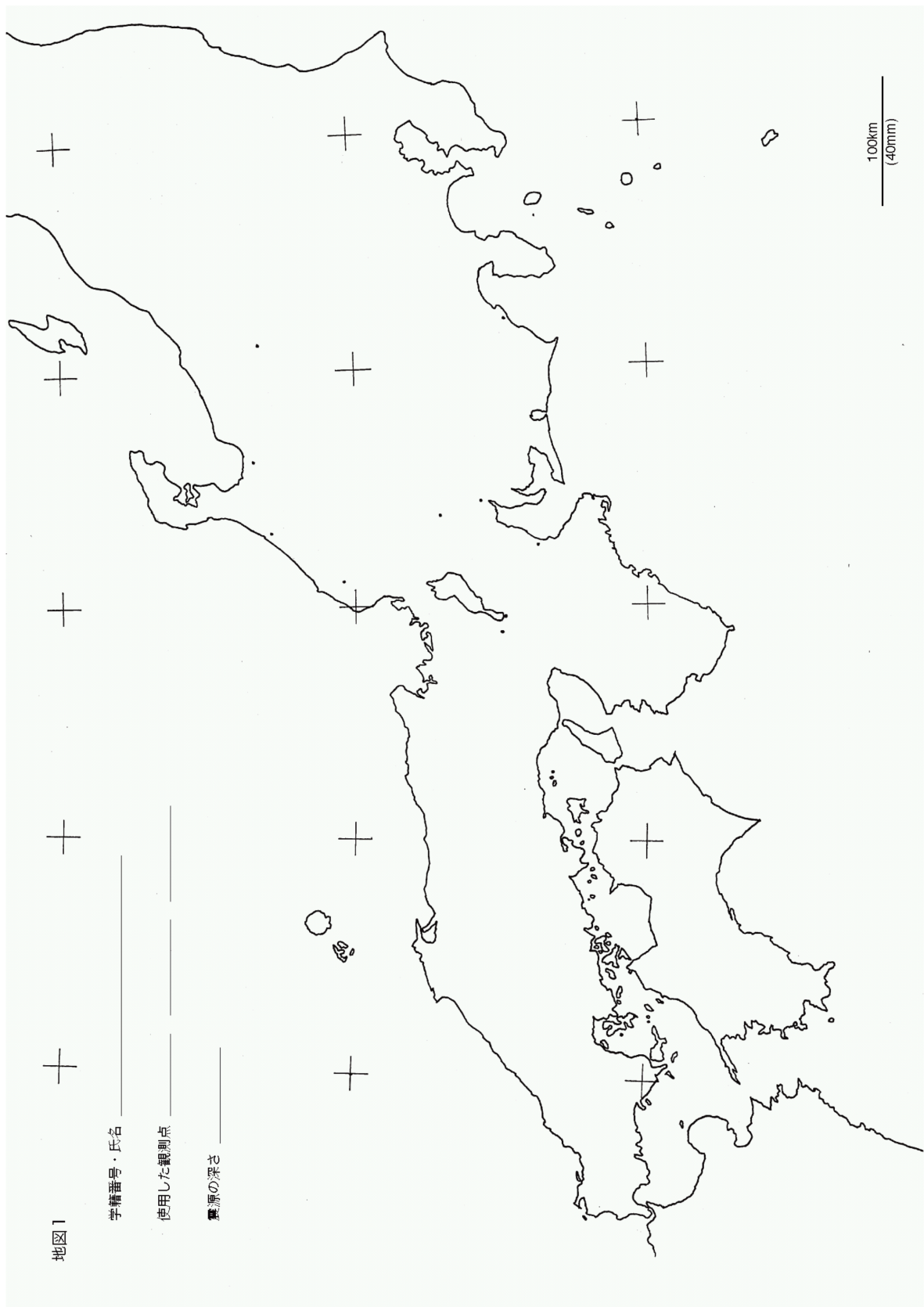


図4. 地図1 (課題1). 資料1 (図3) の各都市の位置を点で示す.

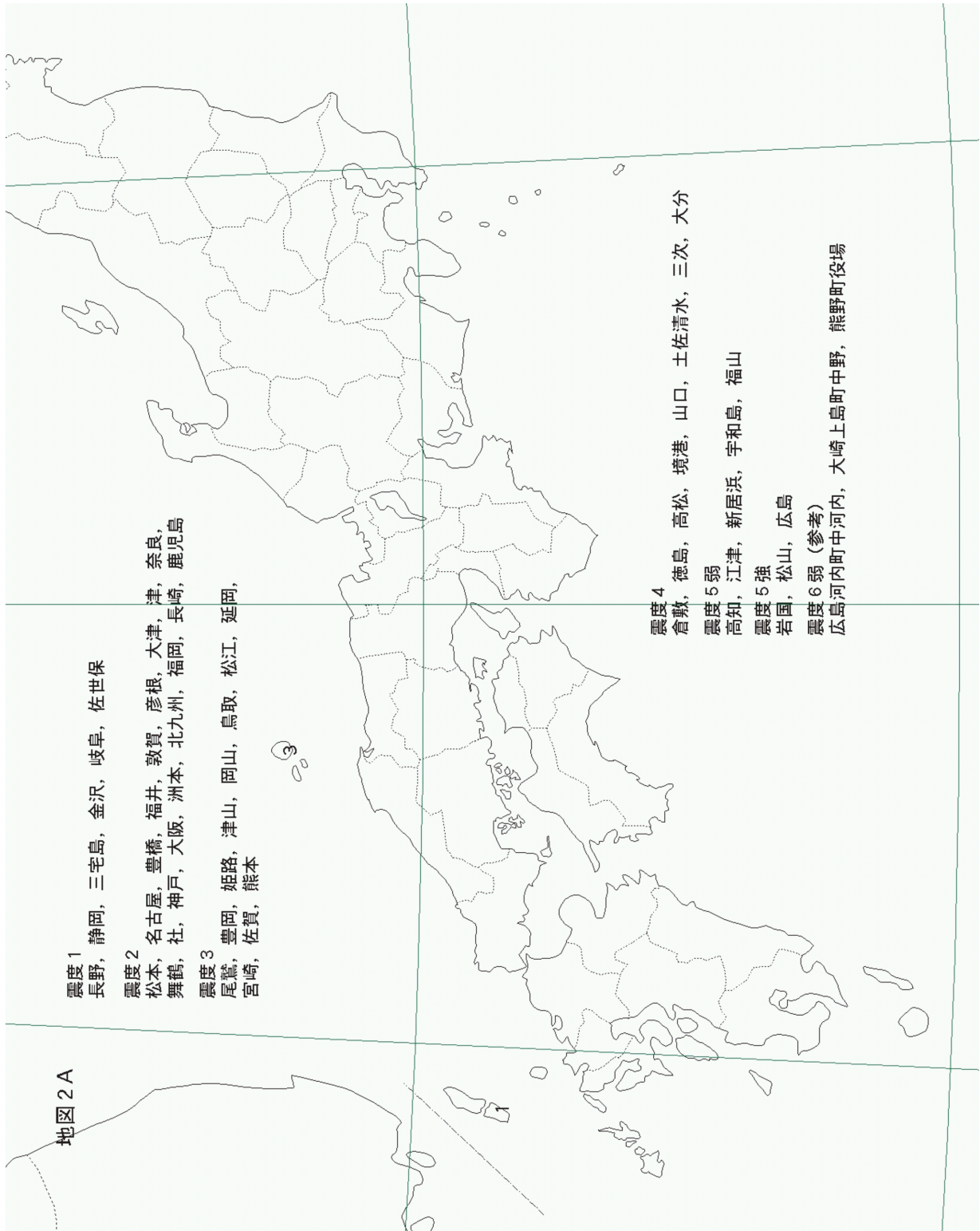


図5. 地図2A(課題2). 平成13年(2001年)芸予地震の各都市の震度を示す(気象庁ホームページから作成).

資料2 防災科学技術研究所公開データベース (K-NET) より作成

0 20秒

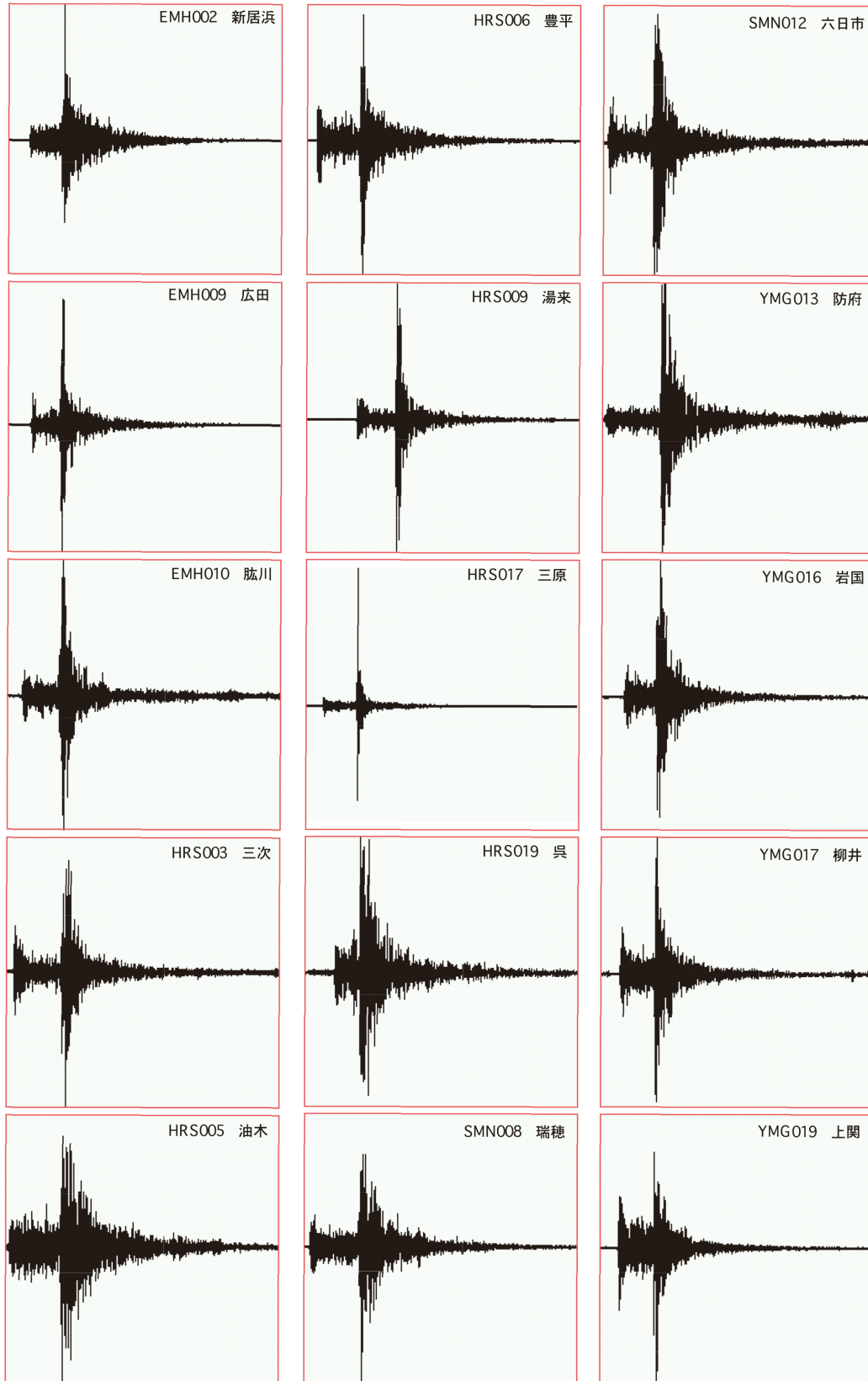


図6. 資料2 (課題2). 平成13年 (2001年) 芸予地震の余震の各地における地震波形 (防災科学技術研究所強震観測網 (K-NET) による).

地図2B



図7. 地図2B (課題2). 資料2 (図6) の各地点の位置を白地図に示す. 著名な都市は地図には地名を入れていない.

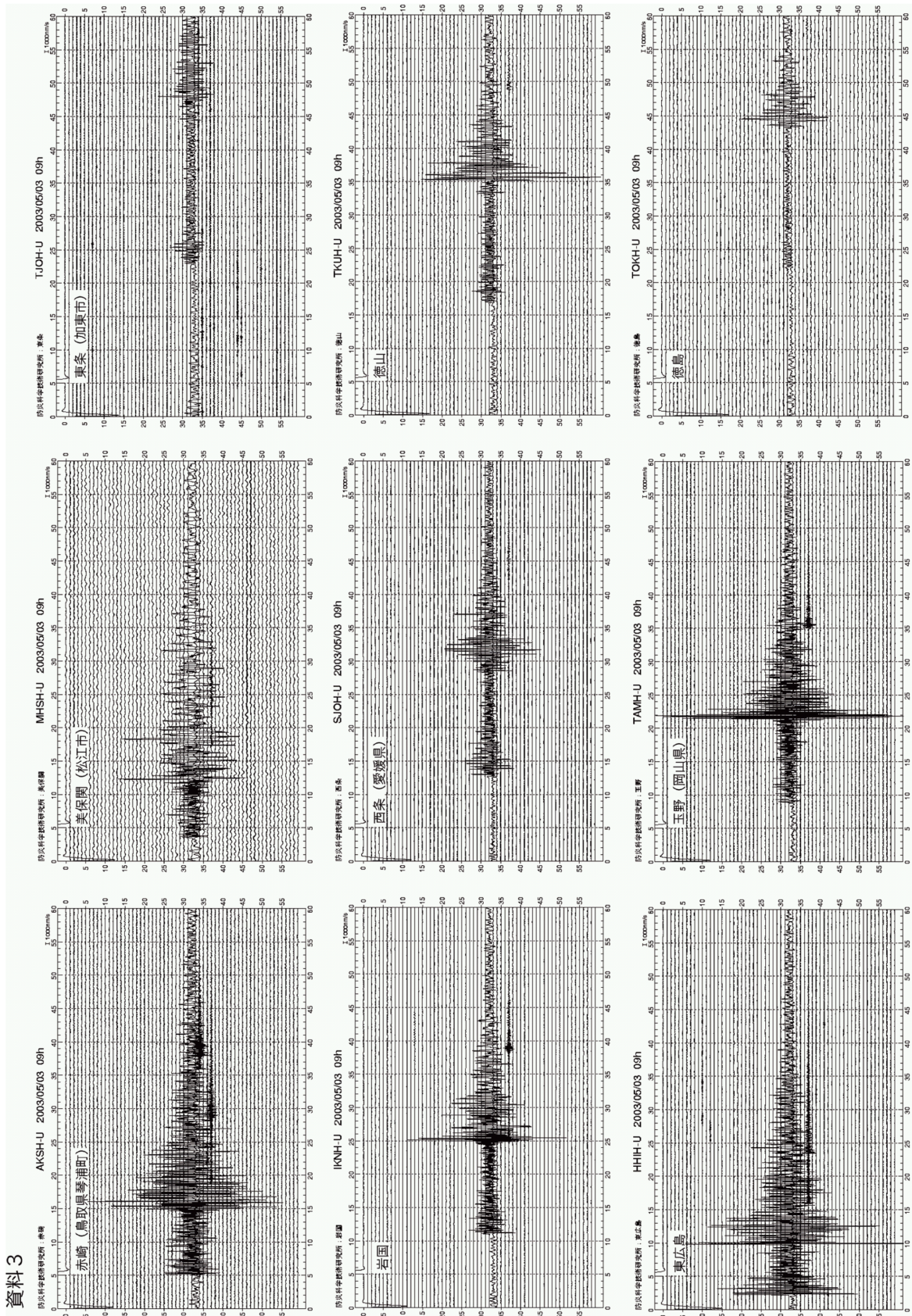


図 8. 資料 3 (課題 3). 2003年に中国地方で起こったある地震の、西日本の 9 地点における地震波形 (防災科学技術研究所高感度地震観測網 (Hi-net) による)。

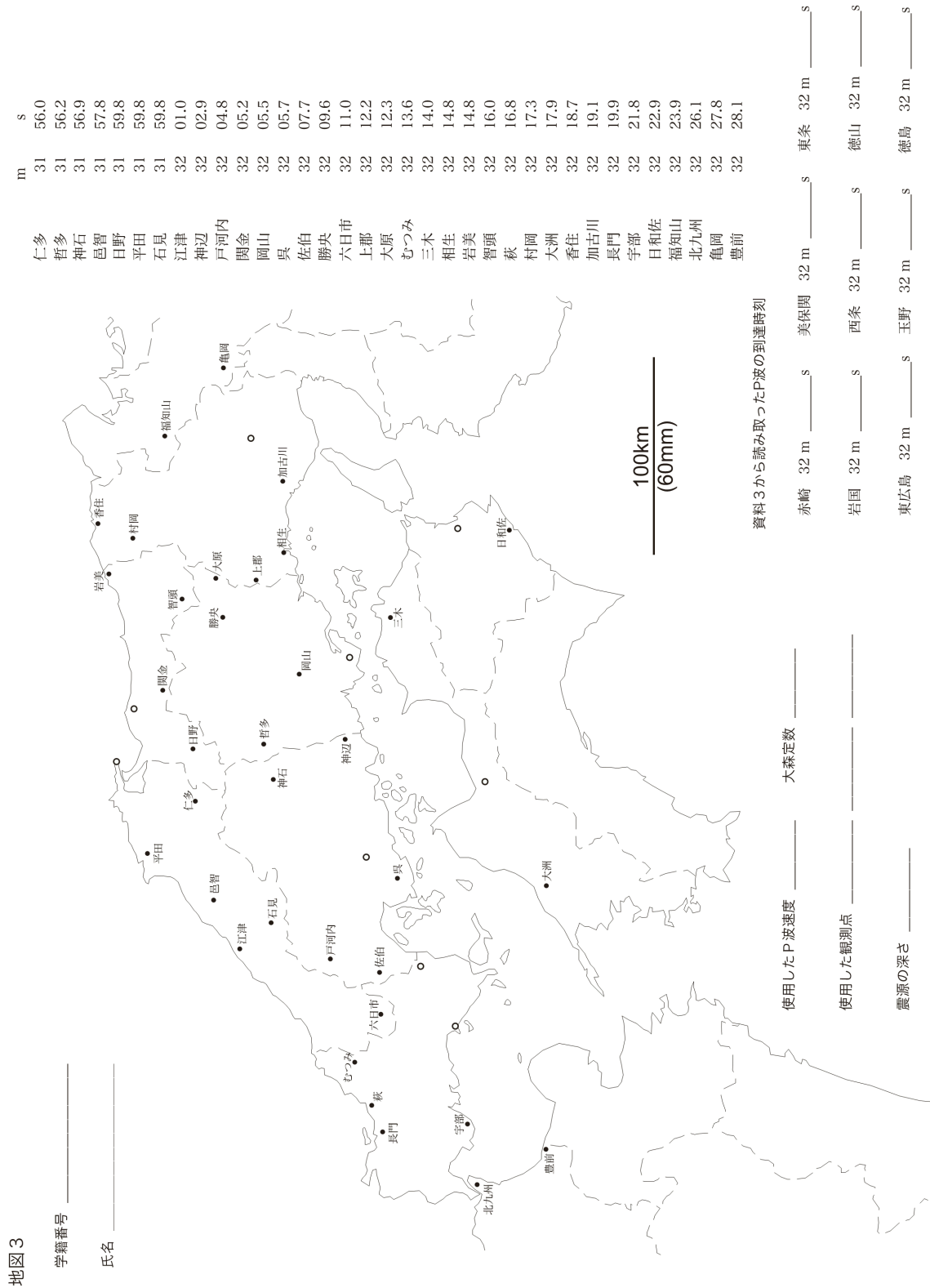


図9. 地図3 (課題3). 資料3 (図8) の9地点 (白丸で示す) を含む西日本の白地図. 図の右側にP波到達時刻が示されている35地点 (黒丸) も記入されている.

学技術研究所のホームページ内に「連続波形画像の見かた」という解説ページで詳細に説明されている。

2) では資料3の観測点から東条以外の3地点を選び、練習問題(図1)の作図の方法により、地図3(図9)上で震央と震源の深さを決める。この地震は震源があまり深くないため、地震波の読み取り方や地点の選び方によっては、震央が求めにくい場合も出てくる。

3) は、資料3と地図3に記された全地点のP波到達時刻を地図3の各地点に記入し、それらの等時刻線を描く問題である。これと同様の、地震発生から各地への地震波到達時間を図示する課題は、中学校1年生の理科教科書にも掲載されている(例えば、塚田ほか, 2016)。

地震教材を活用した授業・教員講習

兵庫教育大学では、これらの地震教材を学校教育学部での授業と教員研修などに使用している。学部1年生前期では「基礎科学実験II」で理科の第2分野、すなわち生物分野と地学分野の基本的な実験を行っている。そのうちの1週(2時限, 1時限=90分)で、この地震の課題を行っている。ほとんどの学生は大森公式や震源を求める方法などは知らないため、練習問題に加え3つの課題を時間内にこなすのは不可能である。そのため、最近では地震や地震波に関する基礎的な講義を行った後、練習問題および課題1と3を行って地震現象の理解を深めるようにしている。

筆者らは毎年、「地震のしくみと大地の変化」と題する免許状更新講習を小・中学校教員向けに実施している。この1日の講習では、午前中に地震のメカニズムや地震災害に関する一般的な講義を2コマで行い、午後は2コマで本論文の地震教材を用いた実習を行っている。小・中学校教員でも計算や作図が苦手な教員も多く、例年学部生と同様に練習問題と課題1と3を実習している。この免許状更新講習では最後に試験を行い、地震波や地震災害等の問題を出しているが、これらの地震教材を用いた実習によって、より各自の理解は深まっているようである。

さらに昨年度には、兵庫県小学校教育研究会理科部会が毎年開催している夏季実験実技講習会において、この地震教材を用いた実習を行った。この講習会は参加人数が多く時間数も少ないため、上記の練習問題と課題3を単純化した問題を実施した。

本論文で紹介した地震教材は、実際に過去に起こった地震のデータを利用しており、教員に必要な地震に関する基礎知識や理解を築く上で有用であると思われる。今後、受講する学生や教員の資質や知識を判断した上で、この教材の内容やこれを用いた実習内容をさらに改善していきたい。

謝辞

この地震教材を作成するにあたり、国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET)および同研究所の高感度地震観測網(Hi-net)の地震波形データを使用した。また、同じく気象庁の芸予地震に関するデータを使用した。地震データの利用に関し、これらの機関に対し感謝する。

引用文献

- 防災科学技術研究所高感度地震観測網ホームページ：
www.hinet.bosai.go.jp
 防災科学技術研究所強震観測網ホームページ：www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/
 磯崎行雄・江里口良治ほか, 2011, 地学基礎. 新興出版社啓林館, 231p.
 気象庁ホームページ：www.jma.go.jp
 文部科学省, 2008a, 小学校学習指導要領解説 理科編. 大日本図書, 105p.
 文部科学省, 2008b, 中学校学習指導要領解説 理科編. 大日本図書, 149p.
 文部科学省, 2009, 高等学校学習指導要領解説 理科編. 131p. (文部科学省ホームページ：www.mext.go.jpよりダウンロード)
 小川勇二郎ほか, 2012, 地学基礎. 数研出版, 224p.
 塚田 捷ほか, 2016, 未来へひろがるサイエンス. 新興出版社啓林館, 260p.