

気象庁59型地震計波形記録を用いた学校教材の開発(準備編)

Class room exercises using the JMA 59-type seismograph records (preliminary report).

岡本 義雄(大阪教育大学・附属高等学校天王寺校舎)

古田 佐代子・廣田 伸之(大阪管区気象台)

2013年日本地球惑星科学連合大会POSTER発表

はじめに

気象庁59型電磁式地震計は1960年代より1990年代の中頃まで、気象庁所管の地震観測の主力地震計であった。その特徴は電磁コイル式速度型センサと積分回路により、変位波形を出力すること。紙ベースの24時間アナログ連続記録であることなどが特徴付けられる。しかしその後のテクノロジーの進展でデジタル記録が主流になるとともに引退し、過去数十年にわたる観測の膨大な記録紙はそれぞれの気象官署の倉庫などに今も厳重に保管されている。

筆者らは、その波形記録の学校教材としての活用に着目した。その特徴は 1) 紙送りが60mm/分であり時間換算が容易なこと 2) 変位記録であり地動との関連が容易に推測できる 3) 倍率が記録紙上で100倍と実地動との換算もたやすい 4) 3成分が同時に1枚の記録紙上で見れることから、PS時間の測定、初動方向などの読み取り、各地動成分とP波・S波などの振幅特性の把握などがたやすい。など、近年の速度・加速度出力、デジタル記録のものより、教材としての活用に適していると考えた。このような教材としての活用はすでに室井(1988, 1989)により、詳細に論じられている。しかし数多くの波形記録を集め、教材として活用しやすいようにはまとめられてはいない。そこで、本研究では、中学理科・高校地学などでの教材としての活用を念頭に小学校や大学教養課程までも視野に入れた波形記録の収集と、解析用のツールの開発を始めたのでその端緒的活動を準備編として報告する。

波形記録

本研究では、大阪管区気象台、神戸海洋気象台、京都地方気象台に保管されていた59型地震計(下図、記録部分のみ)記録の中から、次の目的に見合う資料を借り受け、教材としての活用を図る。その際、以下の点に留意する。

- 1) 生徒に身近なできるだけ最近の記録であること
- 2) 容易に3地点の記録から震央を求められること
- 3) PS時間、最大振幅も求められること
- 4) マグニチュードの計算には電卓ではなく、もっと簡便な手法を取ること
- 5) 震源メカニズム解析も考え、初動が明瞭であること

などである。これらを同時に満足する波形記録はほとんどありえないので、それぞれの目的に応じた波形記録を選択した。記録はそれぞれ元の記録紙と同縮尺の紙ベースで提供される。解析に用いた波形記録の総数はのべ大阪管区気象台2例、神戸地方気象台10例、旧豊岡測候所1例、姫路測候所3例、京都地方気象台13例である。なお下記の解析ごとに使用した波形や総数は異なる。

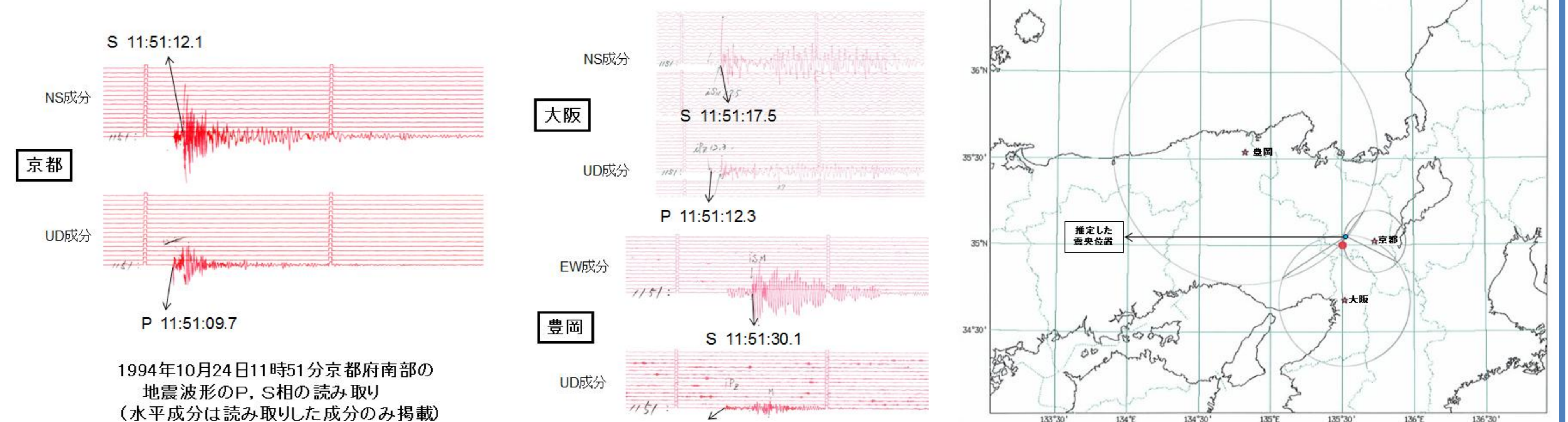


震央の推定

震央の推定の例として、1994年10月24日の京都府南部の地震を選び、大阪管区気象台、京都地方気象台、旧豊岡測候所の波形記録を準備した。右下図が推定結果であり、☆印が3観測点の位置、●印が気象庁地震年報カタログの震央の位置である。

- 1) 波形記録から、P相とS相の到着時刻をそれぞれ読み取る(秒単位、小数第1位まで)。なおP相は上下(UD)成分で、S相は水平(NS, EW)2成分のうち早い方をS相の到着時刻とする(左下図)。
- 2) P相とS相の到着時刻の差が、初期微動継続時間 $T[s]$ となる。大森の距離係数を k とすると、震源までの距離 $D[km]$ は $D = k \times T$ で求まる(大森の距離公式)。今回 k を試行の中から 8.23 とした(波形総数23個)。
- 3) 地図上で求めた距離 D を半径として、3観測点からの円を描き、3つの共通弦を引くと、ただ1つの交点が出る。この点が震央である。

推定した震央はカタログの震央から5km程度北に求まっている。共通弦を引く前に、円はほぼ1点で交わってしまったが、学校教材としては十分であると考えた。



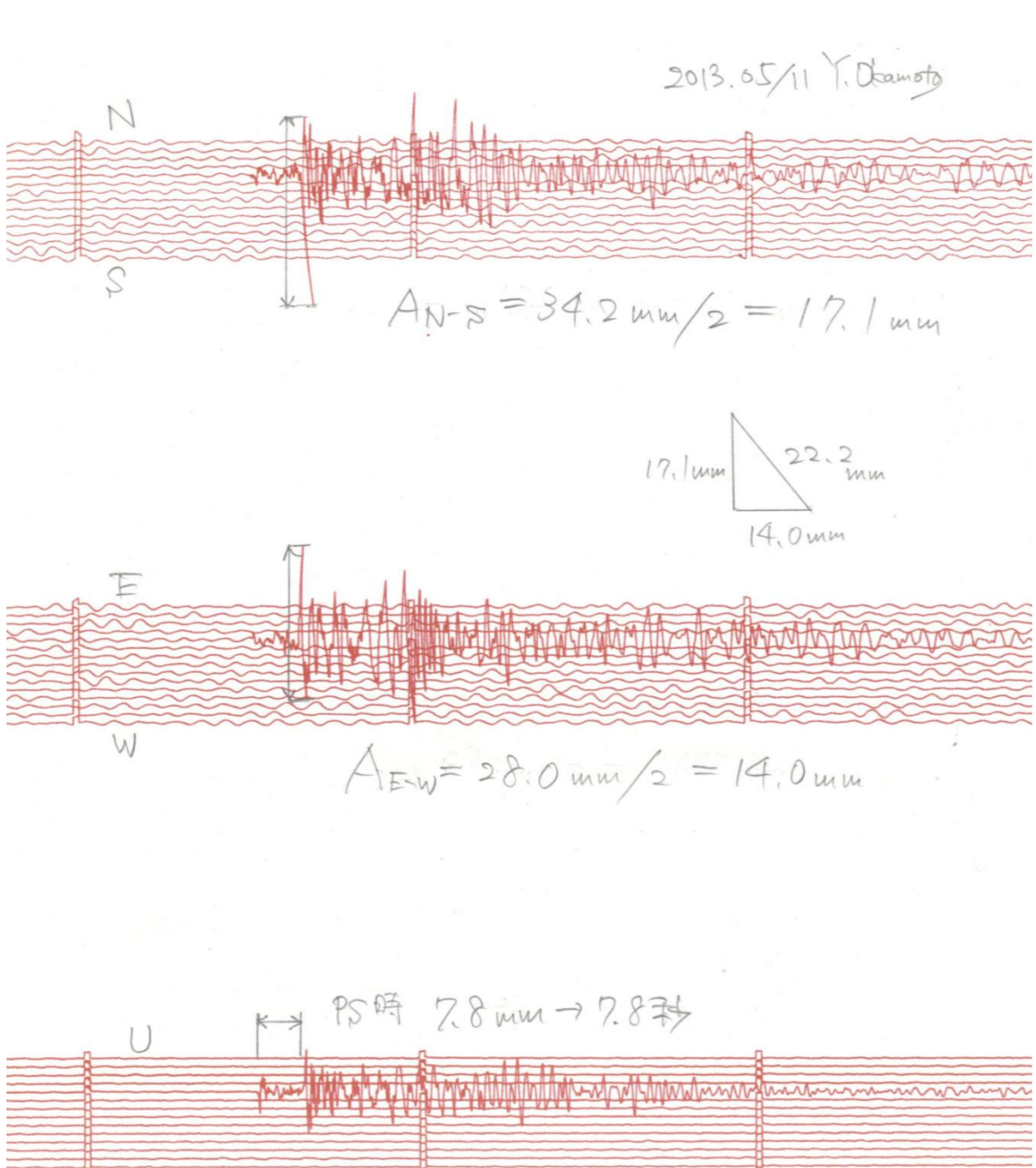
マグニチュード(M)の推定

マグニチュードは震度と並んで、重要な地震の基本単位であるが、一般にはなじみが薄く、また生徒もよく両者を混同している。そこでこのマグニチュード(以下Mと略記)という量の算出過程を身近に実感するための波形記録を用意した。適当なPS時間と、最大振幅が振りきれずに測定しやすい記録を選び、記録紙上でそれぞれを求める。このとき最大振幅は水平動の両成分のベクトル和を作図で用いる。右にこの測定に用いた波形記録例を示す。

Mの推定には右のノモグラムを用いた。右の地震の場合、Mの推定値と地震年報の値は有効数字2桁で一致する。

(ノモグラムにはMが1変化すると、振幅や距離はそれぞれどう変化するかも色線で示している)

<結果>下記にこの方法で推定した各波形から推定したMeと地震年報に記載されたMjとの値の比較、および推定値の誤差と深さ、震央距離との関係は下記のとおり(地震総数26個)。

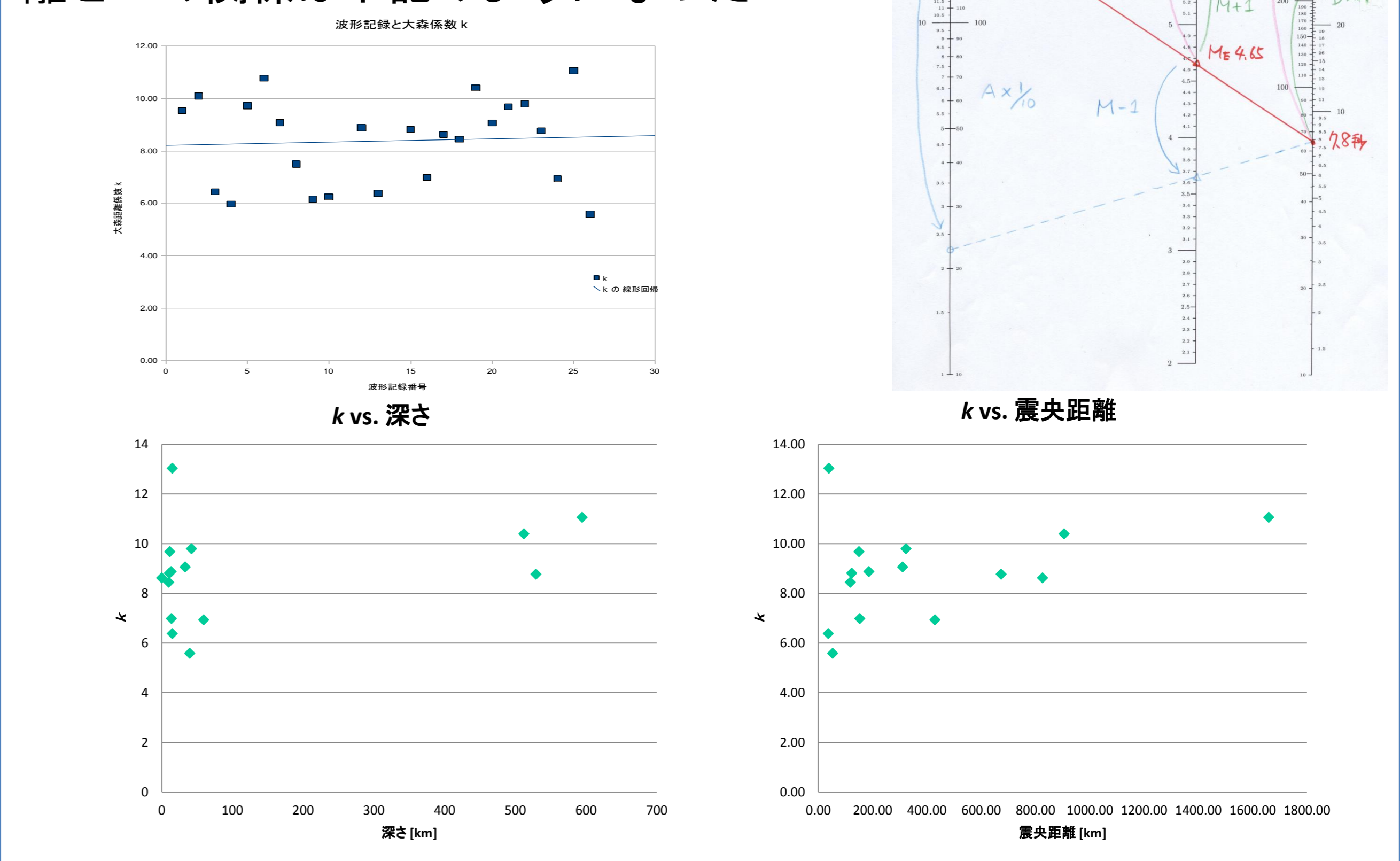


地震年報より
2007年7月16日17時24分19秒 出震 34.16 震源 135.57 深さ 48.4km Mj 4.7 奈良県南部
DOI:10.7551/100.141248.03.133584.03.484803724513.13358403EN-NARA-PRIP 33K

ノモグラムと大森係数(k)

室井(1989)では坪井(1954)の式を用いて、電卓でMを計算していたが、対数を用いるなど中学生にはやや難しい計算となる。そこで本稿では米国の地震教材によく用いられている「ノモグラム」に着目した。本稿ではこのノモグラムをPython言語(PyNomogram 0.2.2)を用いて作成した(右図)。PS時間と最大振幅の測定値から直接Mを推定するようにした(kは上記8)

なお、本稿でのPS時間測定と地震年報記載の震央距離から計算した大森の距離公式kの値、および深さ、震央距離とkの関係は下記のようにになった。



考察

本波形教材を用いた、いくつかの予備的解析について解説しておく。

- 1) 震央の推定誤差は5km程度である。このとき用いられた大森の距離公式の係数kは筆者の一人古田が近地の地震について測定した平均値8.23を用いている。ノモグラムより推定したMeは気象庁発表値Mjとよい相関を示し、その誤差の標準偏差σは0.273である。1地点の波形記録からの推定値としては教材として十分な精度ではないかと考えている。興味深いのは、坪井の式は近距離の深さ60km以下の地震に限る式であるにもかかわらず、震源深さと誤差にそれほど相関がないことや、誤差と震央距離の間にも目立った関係が見られないことである。この結果は本手法がやや遠い地震や、深い地震であっても、教材として活用可能なことを示唆する。
- 2) M推定用の「ノモグラム」はMを求めることのほか、距離が同じで振幅が10倍となるとMが1上がる、振幅が同じで距離が10倍となるとMが1.7上がるなど、Mの対数としての重要な性質を難しい数式なしに生徒や一般の人にも示すことができる。地震学の基本を学ぶ教材としては画期的なものだと考える。

<留意点>

本波形教材を用いた高校生の手による波形解析結果は、本学会「高校生セッションのポスター発表」(大阪教育大学附属高校天王寺校舎地学部佐藤雄亮君)を参照してほしい。また筆者の一人岡本はこの波形教材を大学一般教養課程の講義で実習用として使用し、教材としての高い価値を見出している。これら教材実践記録についてはまた稿を改めて報告したい。ノモグラムの作成の詳細も別稿で報告する予定である。このように学校教材としてこの波形記録は最高の素材であるが、残念ながら現行では元の地震計が現役を引退してしまい、わずかな例外を除いて生徒たちにとって身近な最近の地震記録が得られていない。また保存状態も各気象官署ごとに異なり、現状では利用の上で大きな限界がある。このあたりの解消がこれからの研究の課題の一つである。

結論

気象庁の各官署に保管されている変位波形記録を用いた、教室で即実践可能な教材の開発を報告した。結果はまだ予備的なものであるが、1) 震央決定 2) Mの推定 3) その他、地震波形の普及 など、教材として活用できる十分な可能性が見出された。教室において地震という現象を、波形解析という今まであまり顧みられなかった方向から生徒に目をむけさせるきっかけとなる。今後は、波形資料収集活動をさらに全国の気象台に拡大し、さらに教材の洗練化につなげていきたい。また、本稿では間に合わなかった初動位相を用いた震源メカニズム教材への発展などは次の研究課題としたい。教員の方々にはぜひ本教材を用いた、授業指導案の作成と授業での活用をお願いしたい。

参考文献・謝辞

室井勲:地震記録の調べ方(その2),大阪と科学教育 2, 43-48, 1988

室井勲:地震記録の調べ方(その3),大阪と科学教育 3, 29-34, 1989

坪井忠二:地震動の最大振幅から地震の規模Mを定めることについて,地震2, 7, 185-193, 1954

59型波形記録の収集には、神戸海洋気象台 田原亮一 地震津波防災官、京都地方気象台 能瀬和彦 主任技術専門官の協力を得ました。前大阪管区気象台地震火山課長の吉川一光氏(現仙台管区気象台地震情報官)には、波形の見方や地震記録の歴史などについて貴重なご教示をいただきました。大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎 佐藤雄亮君には本教材を用いた解析を高校生の立場で実践し、数多くの示唆をいただいた。感謝記しておきます。なお本研究には科学研究費補助金基盤C(No. 25350200)の補助を得ています。本教材の一部は筆者らのWebサイトで順次公開予定にしています。本教材に関する問い合わせは岡本義雄(yossi@cc.osaka-kyoiku.ac.jp)まで。