

# 気象庁59型地震計波形記録を用いた学校教材の開発（実践編）

古田 佐代子・廣田 伸之（大阪管区气象台）  
岡本 義雄（大阪教育大学・附属高等学校天王寺校舎）

## はじめに

気象庁59型電磁式地震計（以降、59型地震計）は、1960年代から1990年代の中頃まで使われた気象庁の地震観測を代表する地震計である。59型地震計は、電動コイル型センサと積分回路により変位波形を出力し、その結果は回るドラムの上に巻きつけた紙の上にペンレコーダで描かれる。しかし、このアナログな記録は、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た。

現在、数10年にわたる膨大な観測の記録紙はそれぞれの気象官署の書庫などに今も厳重に保管されている。筆者らは、この波形記録の学校教材としての活用に着目した。その理由は、この記録の特徴である1) 紙送りが60mm/分であり時間換算が容易である、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P-S時間の測定や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。などによる。教材の主な活用方法は、地震の単元において、記録から初期微動継続時間（PS時間）と最大振幅の読み取りを行い、震央とマグニチュードを推定することである。また、このような教材としての活用はすでに室井(1989)により詳細に論じられている。しかし、数多くの波形記録が教材として活用しやすいようにはまとめられてはいなかった。そこで、“準備編”として、岡本・古田・廣田(2013)で、中学理科・高校地学での教材としての活用を念頭に、場合によっては小学校や大学教養などでの教材としての活用も視野におさめた波形記録の収集と、解析用のツールの開発をおこない、その端緒的活動を報告したところである。本発表では、“実践編”として、高校生向けの地学の副教材である「地学実習帳」の形で教材作成を試みたので報告する。



## 問題

### ★ 震央とマグニチュードを求めよう

1 目的  
地震計で地震の揺れを観測した波形記録から、P波とS波の初動時刻及び最大振幅の読み取りをおこない、そこから震央とマグニチュードを求める方法を学ぶ。

2 準備  
定規、コンパス

3 作業  
図3、図4、図5は、1994年6月28日に発生したある1つの地震について、彦根観測点、大阪観測点、豊岡観測点に設置された地震計で、ペンをレコーダに描かれた変位波形記録である(各の観測点、この地震計は、南北方向(NS)の揺れ、東西方向(EW)の揺れ、上下方向(U)の揺れの3成分の地震の動きを観測するため、1つの観測点の記録は南北成分(NS)、東西成分(EW)、上下成分(U)の3成分の波形の記録からなる。)

【参考】  
① 図3、図4、図5は左から右に描かれており、タイムスタンプは1分間隔に打ってある。また、タイムスタンプ間は60mmであるので、1mmが1秒に相当する。

② 図3、図4、図5について、図中の○印の時刻を参考にし、定規を用い、P波とS波の初動時刻(1秒単位で読み取り、右側に記入せよ。なお、P波は上下成分(U)で読み取り、S波は水平成分(NS、EW)でそれぞれ読み取ってその時刻の両方の観測点とする。次に、定規を用い、水平成分(NS、EW)の最大全振幅(1mm)単位でそれぞれ読み取って右側に記入せよ。

③ 右側において、初期微動継続時間(PS時間)  $T$  (秒)と、震源距離  $D$  (km)をそれぞれ求め、小数点以下1位(小数点第2位を四捨五入)までの値を記入せよ。なお、大震度(は)は9.23とする。

④ マグニチュードを求めるには、水平成分(NS、EW)の最大全振幅を合成した振幅  $A$  (mm)が必要となる。振幅を求めるには、この地震計は、南北方向(NS)の揺れ、東西方向(EW)の揺れ、上下方向(U)の揺れの3成分の地震の動きを観測するため、1つの観測点の記録は南北成分(NS)、東西成分(EW)、上下成分(U)の3成分の波形の記録からなる。次に、図1を参考に最大全振幅の長さ(斜辺)の直角三角形を作図し、定規で斜辺長  $A$  (mm)を小数点以下第1位まで読み取って表に記入せよ。

【参考】  
① この実習で使用するマグニチュード  $M$  は求める計算式は  $M = \log(A) + 1.73 + \log(D) - 0.83$  と表された気象庁が1kmより近い地震について用いている。この式の  $A$  は水平成分(NS、EW)の最大全振幅の合成値である。

② 図6において、各3観測点を中心とし、震源距離  $D$  を半径とする円をコンパスでそれぞれ描き、震央を推測せよ。

【参考】  
① 震源距離  $D$  を半径とする円が交わった点をそれぞれ結んでできる3つ(以上)の共通した点で交わる。この交点が震央である。

③ 図6は、マグニチュードを求める計算式に基づき、振幅  $A$  を対数表示した「のりしろ」の値と、震源距離  $D$  を対数表示した「のりしろ」の値と、マグニチュード  $M$  の値とを対応させている。このように「のりしろ」の値と、各3観測点での振幅  $A$  と震源距離  $D$  をそれぞれ結び、マグニチュード(マグニチュード)の「のりしろ」の値を求め、表に記入せよ。

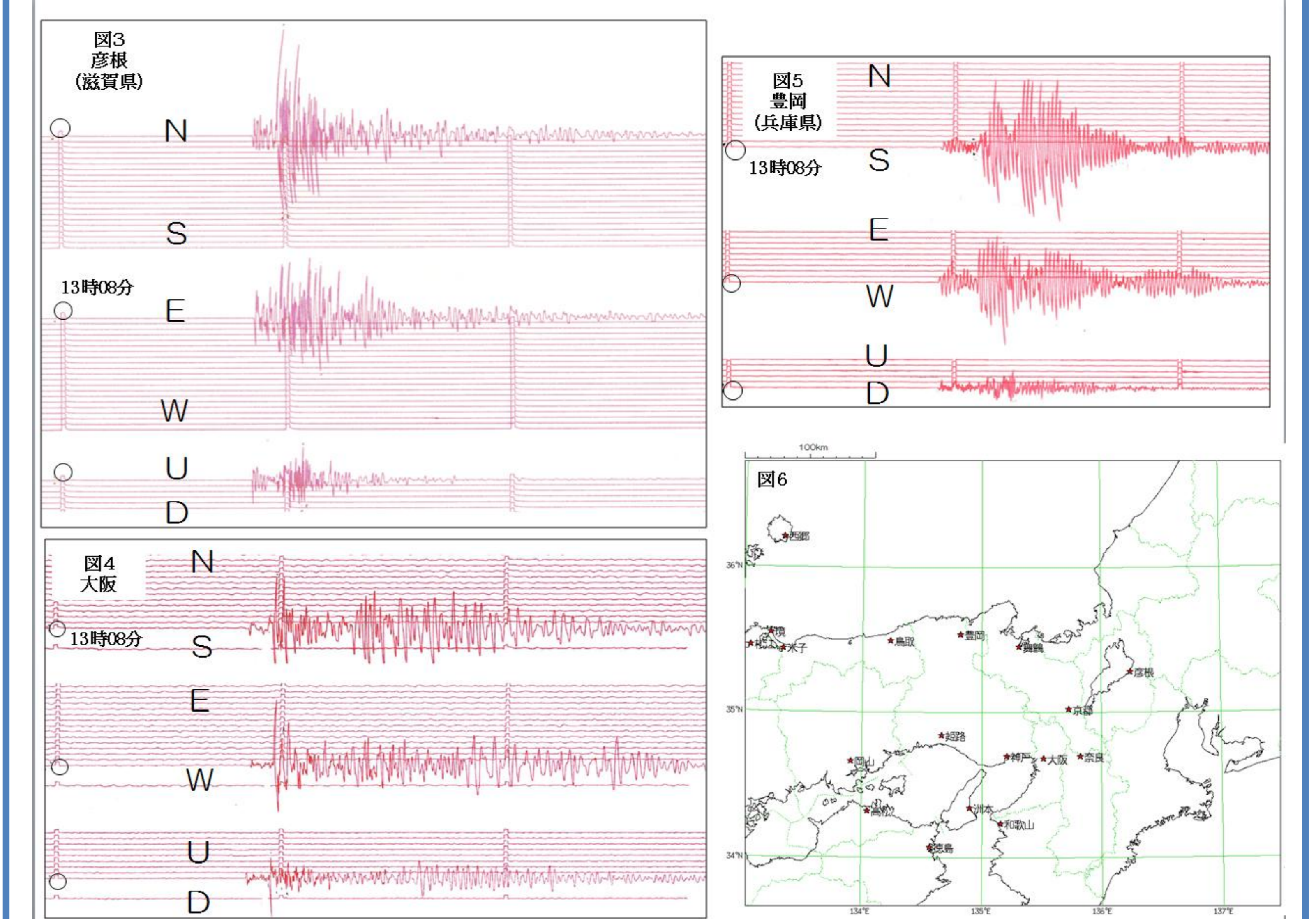
4 考察  
① 求めた震央と気象庁の震央と比較せよ。  
② 地震のマグニチュードは3-④で求めた3つのマグニチュードの平均値とする。求めよ。(約 )

また、気象庁のマグニチュードと比較せよ。  
③ 図2の「セグメント」について、振幅  $A$  を半径とする円を震源距離  $D$  が10倍になったとき、マグニチュードはどうか変わるか、震源距離  $D$  はそのまま、振幅  $A$  が1/10倍になったとき、マグニチュードはどうか変わるか、を考察せよ。

表	彦根	大阪	豊岡
P波初動時刻			
S波初動時刻			
初期微動継続時間: T			
震源距離: $D=k \times T$ ( $k=8.23$ )			
最大全振幅 (NS)			
最大全振幅 (EW)			
最大全振幅 (NS、EW)			
振幅: A			
マグニチュード			

図1  
 $a^2 + b^2 = c^2$   
【ポイント】  
最大全振幅(aとb)の合成した値:Aは、直角三角形の斜辺の長さ(c)と考える。

図2  $M = \log(A) + 1.73 + \log(D) - 0.83$



## 解答

### ★ 震央とマグニチュードを求めよう

1 目的  
地震計で地震の揺れを観測した波形記録から、P波とS波の初動時刻及び最大振幅の読み取りをおこない、そこから震央とマグニチュードを求める方法を学ぶ。

2 準備  
定規、コンパス

3 作業  
図3、図4、図5は、1994年6月28日に発生したある1つの地震について、彦根観測点、大阪観測点、豊岡観測点に設置された地震計で、ペンをレコーダに描かれた変位波形記録である(各の観測点、この地震計は、南北方向(NS)の揺れ、東西方向(EW)の揺れ、上下方向(U)の揺れの3成分の地震の動きを観測するため、1つの観測点の記録は南北成分(NS)、東西成分(EW)、上下成分(U)の3成分の波形の記録からなる。)

【参考】  
① 図3、図4、図5は左から右に描かれており、タイムスタンプは1分間隔に打ってある。また、タイムスタンプ間は60mmであるので、1mmが1秒に相当する。

② 図3、図4、図5について、図中の○印の時刻を参考にし、定規を用い、P波とS波の初動時刻(1秒単位で読み取り、右側に記入せよ。なお、P波は上下成分(U)で読み取り、S波は水平成分(NS、EW)でそれぞれ読み取ってその時刻の両方の観測点とする。次に、定規を用い、水平成分(NS、EW)の最大全振幅(1mm)単位でそれぞれ読み取って右側に記入せよ。

③ 右側において、初期微動継続時間(PS時間)  $T$  (秒)と、震源距離  $D$  (km)をそれぞれ求め、小数点以下1位(小数点第2位を四捨五入)までの値を記入せよ。なお、大震度(は)は9.23とする。

④ マグニチュードを求めるには、水平成分(NS、EW)の最大全振幅を合成した振幅  $A$  (mm)が必要となる。振幅を求めるには、この地震計は、南北方向(NS)の揺れ、東西方向(EW)の揺れ、上下方向(U)の揺れの3成分の地震の動きを観測するため、1つの観測点の記録は南北成分(NS)、東西成分(EW)、上下成分(U)の3成分の波形の記録からなる。次に、図1を参考に最大全振幅の長さ(斜辺)の直角三角形を作図し、定規で斜辺長  $A$  (mm)を小数点以下第1位まで読み取って表に記入せよ。

【参考】  
① この実習で使用するマグニチュード  $M$  は求める計算式は  $M = \log(A) + 1.73 + \log(D) - 0.83$  と表された気象庁が1kmより近い地震について用いている。この式の  $A$  は水平成分(NS、EW)の最大全振幅の合成値である。

② 図6において、各3観測点を中心とし、震源距離  $D$  を半径とする円をコンパスでそれぞれ描き、震央を推測せよ。

【参考】  
① 震源距離  $D$  を半径とする円が交わった点をそれぞれ結んでできる3つ(以上)の共通した点で交わる。この交点が震央である。

③ 図6は、マグニチュードを求める計算式に基づき、振幅  $A$  を対数表示した「のりしろ」の値と、震源距離  $D$  を対数表示した「のりしろ」の値と、マグニチュード  $M$  の値とを対応させている。このように「のりしろ」の値と、各3観測点での振幅  $A$  と震源距離  $D$  をそれぞれ結び、マグニチュード(マグニチュード)の「のりしろ」の値を求め、表に記入せよ。

4 考察  
① 求めた震央と気象庁の震央と比較せよ。  
② 地震のマグニチュードは3-④で求めた3つのマグニチュードの平均値とする。求めよ。(約 4.7 )

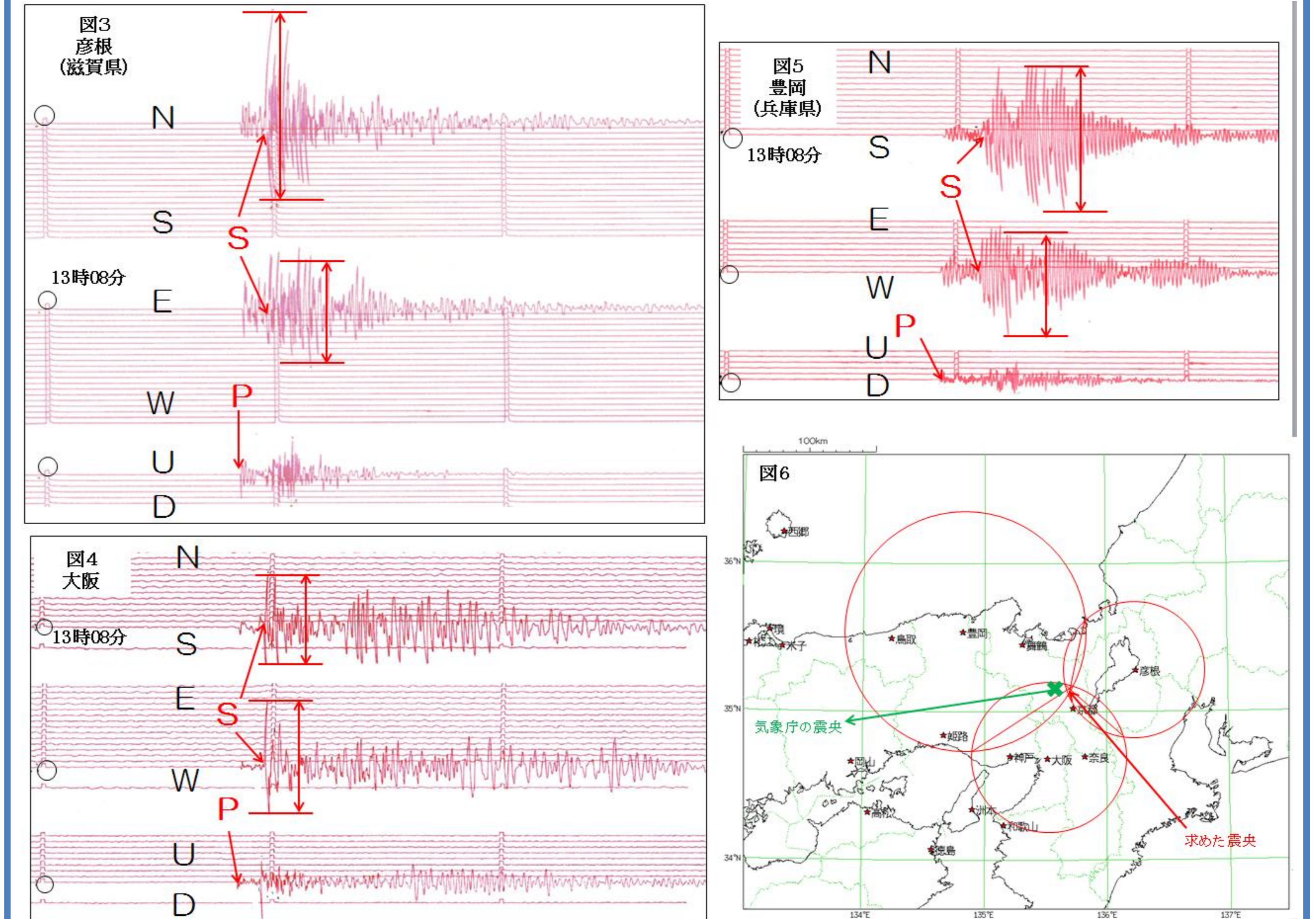
また、気象庁のマグニチュードと比較せよ。  
③ 図2の「セグメント」について、振幅  $A$  を半径とする円を震源距離  $D$  が10倍になったとき、マグニチュードはどうか変わるか、震源距離  $D$  はそのまま、振幅  $A$  が1/10倍になったとき、マグニチュードはどうか変わるか、を考察せよ。

表	彦根	大阪	豊岡
P波初動時刻	130851.8	130851.2	130856.5
S波初動時刻	130858.8	130858.0	130907.3
初期微動継続時間: T	7.0	6.8	10.8
震源距離: $D=k \times T$ ( $k=8.23$ )	57.6	56.0	88.9
最大全振幅 (NS)	48.0	29.0	37.8
最大全振幅 (EW)	26.6	31.0	27.0
最大全振幅 (NS、EW)	24.0	14.5	18.9
最大全振幅 (NS、EW)	13.3	15.5	13.5
振幅: A	27.4	21.2	23.2
マグニチュード	4.6~4.7	4.5	4.9

図1  
 $a^2 + b^2 = c^2$   
【ポイント】  
最大全振幅(aとb)の合成した値:Aは、直角三角形の斜辺の長さ(c)と考える。

図2  $M = \log(A) + 1.73 + \log(D) - 0.83$

図6: Map showing the epicenter (震央) determined by the intersection of circles centered on the three observation points. The epicenter is located near the intersection of the circles from 彦根 (M4.9) and 大阪 (M4.5).



## おわりに

震央を求める部分については、著者がいくつかの地震について作図をおこなった結果、さらに“深さ”を求め“震源”を求めるには、アナログ波形の読み取りの精度上、かなり深い地震以外では難しいことが判明した。しかし、現実の地震波形に対して定規とコンパスを用いることで、気象庁の求めた震央の位置と非常に近い位置に震央を簡単に求められることを、生徒たちが興味を持って理解できると考えられる。また、マグニチュードを求める部分については、対数で表された計算式に読み取った振幅の値を代入し関数電卓を使用して算出するより、“ノモグラム”というスケールを用いることで対数の性質を視覚的に読み取ることができる。たとえば、振幅の値を固定し震源距離が10倍になった場合、つまり、震源からの距離が10倍遠い観測点で同じ振幅の波形が観測された場合、遠い地震のマグニチュードは近い地震のマグニチュードより1.73大きくなる(対数の項の前の1.73の係数による効果)。逆に、震源距離を固定して振幅の値が1/10倍の場合、つまり、ある観測点から同距離の2つの地震を観測し、一方の地震の振幅が他方のその1/10倍となった場合、マグニチュードの差が1であることがわかる。

教材となる地震を選択する基準は、震央を囲む少なくとも3観測点での記録が残る地震であること、波形が振り切れていない、程よい大きさの地震であることである。その他、1) 坪井の式が使える比較的浅い地震(深さ60km未満)であること、2) P波とS波の初動の読み取り、水平成分の最大振幅の読み取りが容易なこと、3) PS時間を用いた震央の推定が容易であること、などがある。

1994年の終わり頃に59型地震計が運用を終了してから、現在は、デジタルの波形記録に変更された。また、1997年の半ば頃から、地震計の設置数は全国的に格段に増加している。そのような中、生徒に身近に地震を感じてもらうためには、生徒が実際に体感した、あるいは見知っている地震を教材に用いることがふさわしいと考えられる。今後は、最近の地震のデジタル波形記録から、このような59型地震計のような扱いやすいアナログ波形記録を作成し、教材として活用していく必要があると考える。

## 参考文献・謝辞

- 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.
- 岡本義雄・古田佐代子・廣田伸之: 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), 2013年地球惑星科学連合大会予稿集CDROM.
- 岡本義雄: 地学教材としての「ノモグラム」再考, 本学会予稿集.

59型地震計の波形の収集には、神戸海洋気象台の田原亮氏、京都地方気象台の能瀬和彦氏、彦根地方気象台の仲岡茂氏、和歌山地方気象台の嶋岡正喜氏の協力を得ました。また、本研究には科学研究費補助金基盤C (No. 25350200)の一部を使用しました。