

はじめに

震源距離に関する大森公式は、中学・高校の教科書に記載されるが実際の地震記録を用いた、その教材は探すとき意外と少ない(たとえば、岡本ほか、2016など)。
筆者は大阪府の自宅と、3年タイの科学高校(KVIS)に、同じタイプの教材用自作地震計を設置し、地震観測を継続している(Okamoto, 2018)。数年間の観測で、近距離の地震はもとより、遠地の地震記録もかなりの数、収集されてきた。
そこで、このほど**日本とタイで記録した同一の遠地地震記録**をいくつか選択し、教材用の震源決定作図をする教材を作成した。2点のみの観測であるが、およその震源決定ができた。さらにUSGSの決定した震源との比較で、その評価を行った。またこのような遠地の地震について、P波、S波の到着時刻差から震源距離を推定する大森の震源距離公式の係数kについて検討を行った。教科書記載の大森係数の値に問題があることは、すでに加藤・岡本(2015)が指摘している。ここではさらに遠距離でこの係数の値がどうなるかを検証することにした。

地震計記録

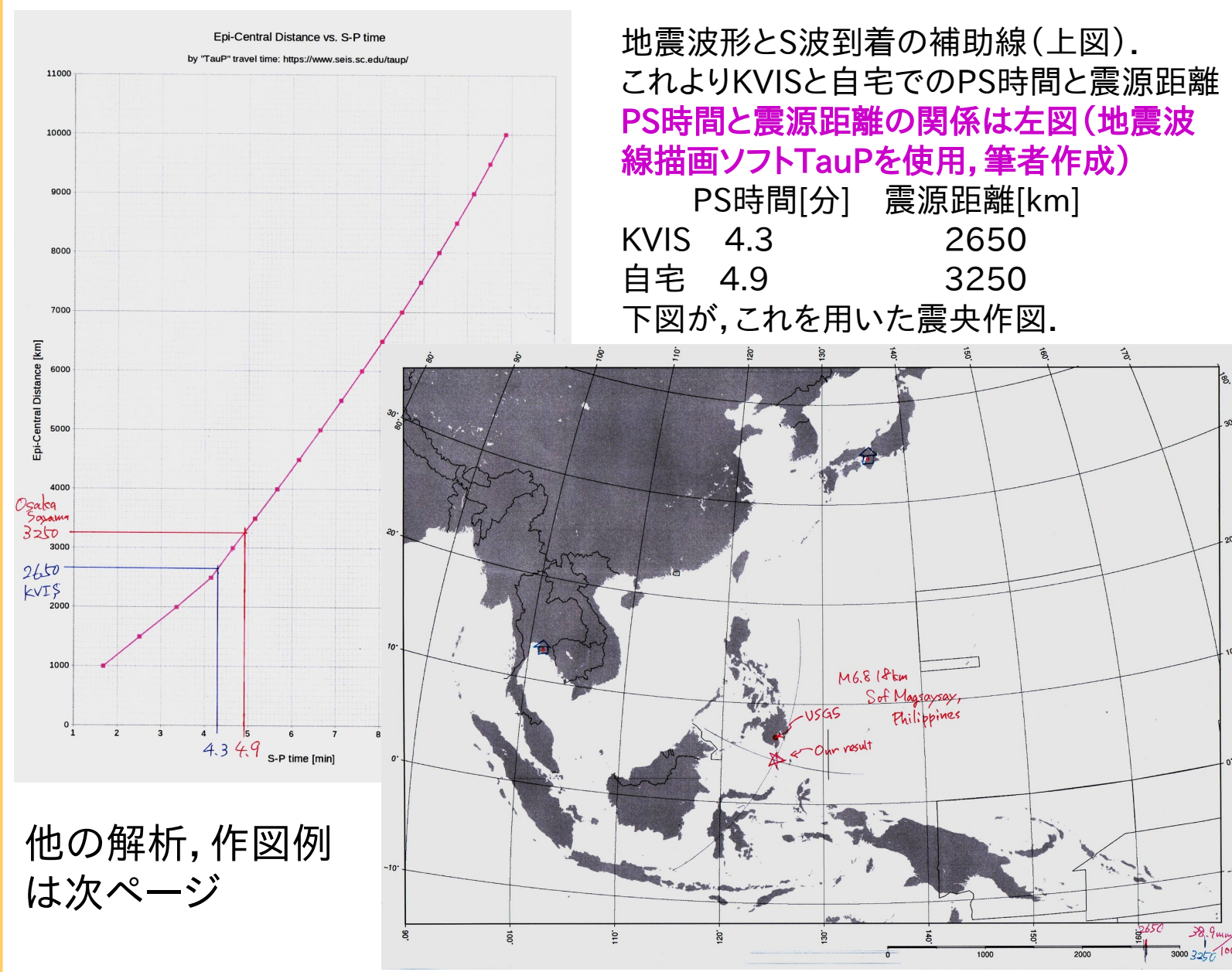
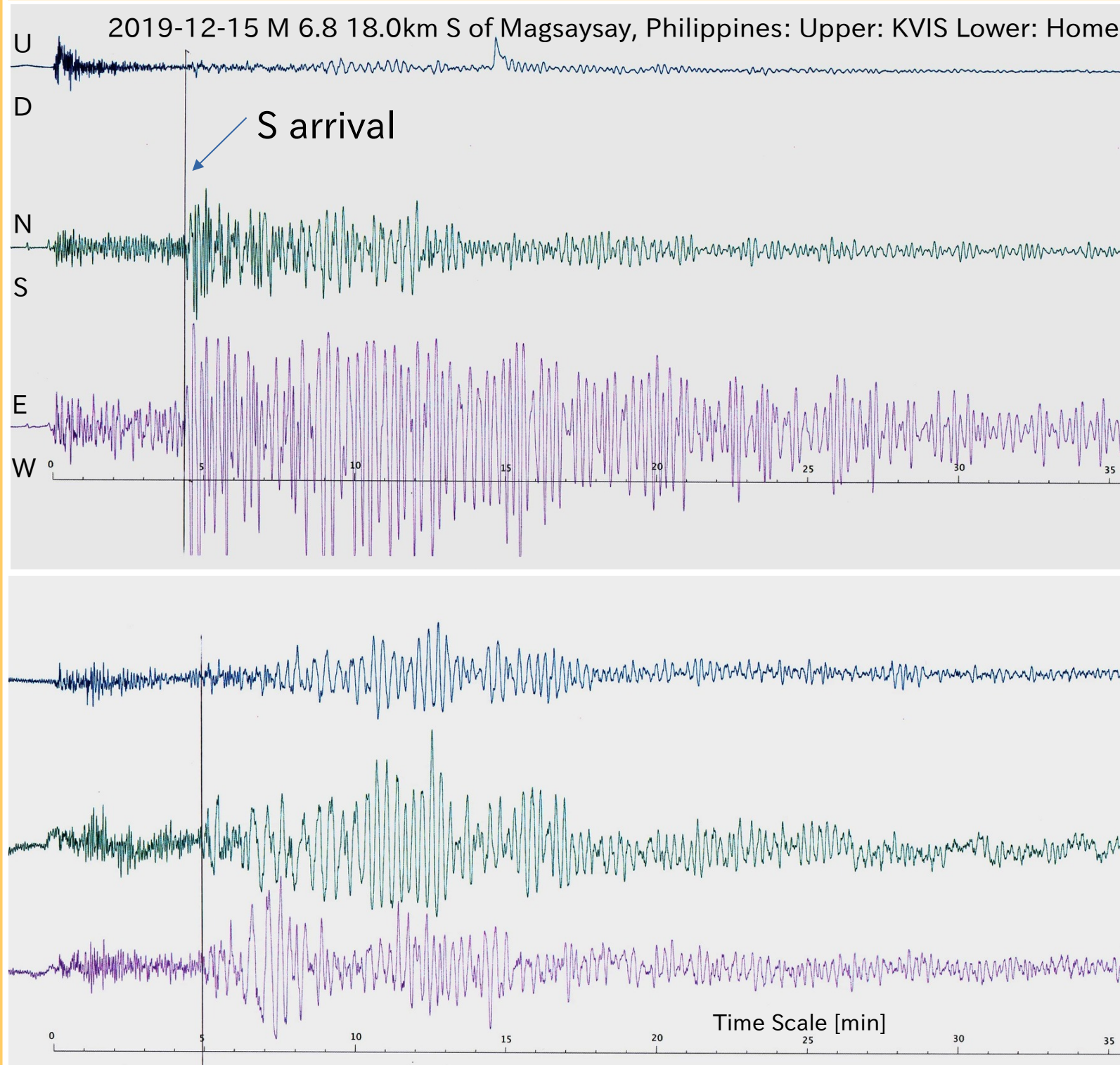
自作地震計の概要は、参考文献のほか、本学会で発表する技術的な改良点(岡本, 2022a)を参照してほしい。いずれもかつての、気象庁59型変位地震計を模した自作の地震計である。構成はコイル+ネオジウムマグネットの電磁センサ、積分アンプ、Arduinoを用いたPCベースの記録システムである。近地ではM2以上、遠地(外国)地震は、M6.5~M7クラスの、ほぼ世界中の地震が検知可能である。次の条件の地震計記録のうち、筆者自宅(大阪府狭山市)とKVIS(タイ王国ラヨーン郡)の、両方に記録されたものを次の基準で選択した。
1) 走時が読み取りやすい地震であること
2) 地図上の震源と、観測点の位置関係がわかりやすいこと
3) 地図上で、適当に散らばること。
これらの条件を満たす地震として、次の地震ほかを選んだ(震源諸元はUSGSによる)。

2019-12-15 M 6.8 18.0km S of Magsaysay, Philippines
2019-01-07 M6.6 43.2km, Molucca Sea
2019-05-07 M7.1 146km, NW of Bulolo, Papua New Guinea

生徒実習(手順)

- 2地点の地震波形記録から、P波、S波の到着を補助線を引いて決定し、**PS時[分]を求める**。Pは頭出しずみ、Sを求める。
- 走時グラフ(右図)より、震源距離[km]を求める。図のタイムスケールから、長さ[km]と時間[分]のスケールファクターを求めて計算。
- 地図の各観測点から、それぞれの**震源距離を半径に、コンパスで円を描き、交点を求める**。
- USGSの震源情報を元に、2ヶ所ある交点のうち震央を決める。
- USGSの震央もプロットして、両者の差異を確認する。

波形解析から震央プロット(筆者による)



他の解析、作図例は次ページ

大森係数の検証

<手順>

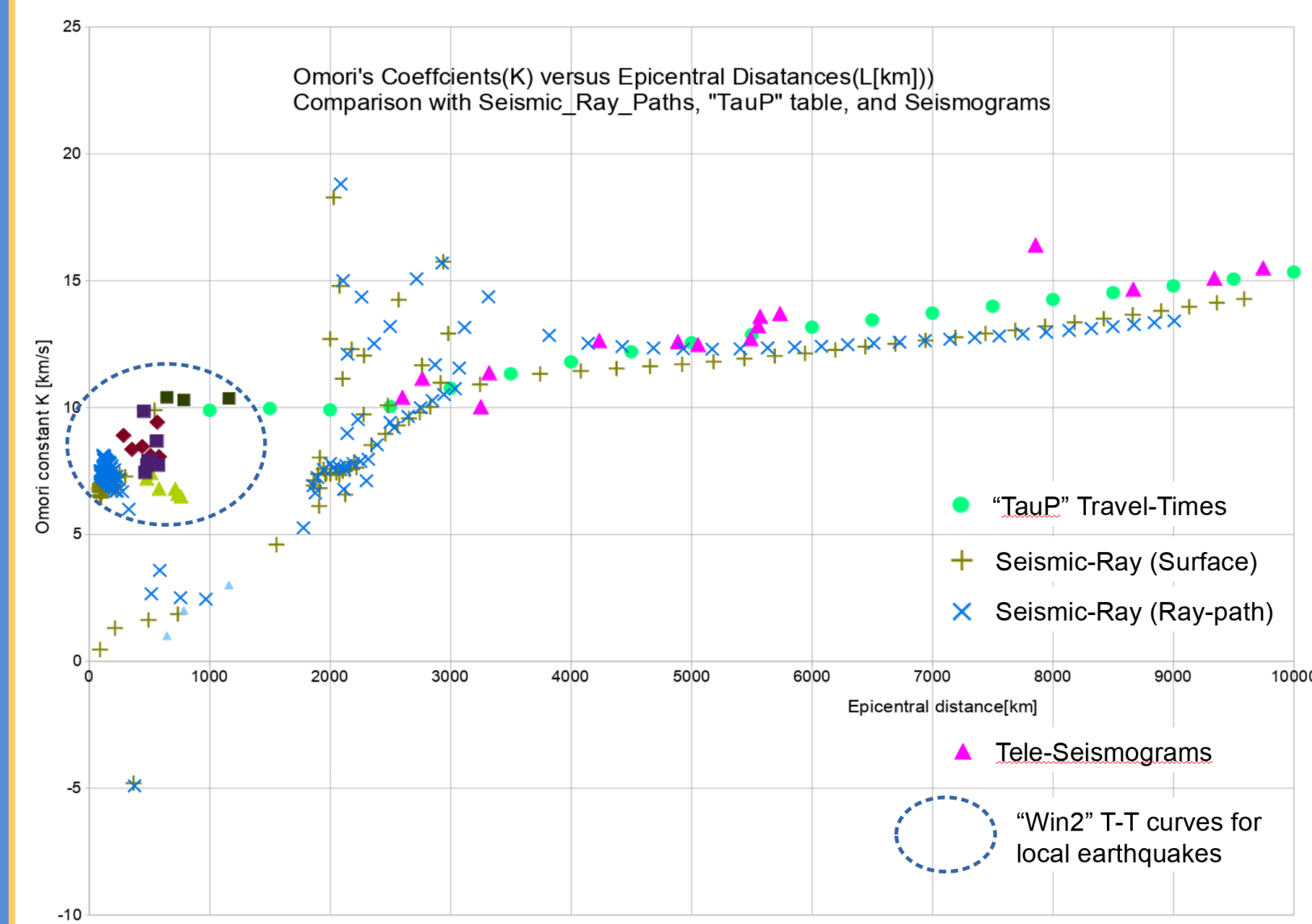
- 1) 下記の異なった手法により、P波、S波の震央距離別の到着時刻を算出。これより震央距離別のPS時間を推定する。
- 2) 推定されたPS時間と震央距離から大森係数を算出する。
- 3) 震央距離と大森係数の関係を示す、グラフをプロットする。

<手法>

- 1) **地震波線描画ソフト"TauP"**の走時算出機能を用いてP波、S波の到着時刻を計算し、上記のパラメータを算出。
 - 2) 既開発の筆者の地震波線描画ソフト("Seismic-Ray", 未公表)を用いて、同様のパラメータを算出。
 - 3) 左側で作図に用いた遠地地震の震源要素のうち、震央距離と筆者の地震波形の解析から、算出したPS時間を比較し、上記と同様のプロットを行う。
 - 4) 上記手法では、近地の地震の解析が不可能なので、局地的な地震から近い観測点(震央距離約1000km未満)の波形データをwin2(伊東明彦氏作成)を用いて、波形ペーストアップ、ならびにP、S位相ピックアップを行い、それらの走時からPS時間を算出。上と同様のプロットを行う。
- 以上の4手法(詳細は本ポスター;2および3ページへ)。
※Seismic-RayのPS時間は地球表面に沿ったもの(震央距離に相当)と、地震波線に沿ったもの(震源距離に相当)との両方を計算。

<結果>

下記に、すべての手法に基づく、算出された大森係数と震央距離別の関係をグラフに示す(図をクリックすると大きな図に飛ぶ)。



結果と議論

<震央作図>

2点のみの地震波形からの作図であるが、USGSの震源要素と比較しても、かなり近い精度で震央が決定される。
議論として、2点だけの観測では、心もとない。タイにおける筆者の地震計は、現在KVISを含め、2ヶ所の高校に設置されているが、1ヶ所は現在、機材トラブルで稼働を中断している。今後これの修理を行いたい。さらに今年中にもう1セット、タイ北部の高校に設置予定である。これらの地震計の地震波形も今後、この種の教材作成に用いて行きたい。地震波形の選定にあたっては、生徒に読み取りやすい(特にS波)ものを選択すべきである。震源の深さも推定できるかは今後の課題である。
<大森係数の検証>
もともと、近地の地震に関する地震波速度一定のもとに成り立つ公式である(マントルを通る屈折波などを考慮していない)。しかし、さまざまな点に目をつぶると、さらに遠くの地震に関しても、生徒実習が可能であることがわかる。そのための大森係数のより遠距離における、傾向を調べた。その結果1000km以降の"TauP"による計算値は距離に対して、一定ないし、漸増のかなりよい傾向を示す。これを用いれば、さらに遠距離の地震波形を用いた、震央決定の作図が可能となろう。ただし、その際には次の点を考慮したい。
1) 地球が丸い効果が入る。
2) あくまで直達波のみを目的とする。
3) 地図のゆがみを考慮したい(正距図法が望ましい)。など。

結論ほか

日本と海外の2点観測による地震波形を解析することで、生徒にも実施可能な震央(震源)作図教材を作成した。今後は観測点を増やし、さらに精度の高い作図可能な地震波形の提供を目指したい。
大森係数の検証では、通常定義の範囲を越えて、遠地の地震においても、用途を教材に限定すれば、大森係数の議論が可能であることがわかった。特に1000から2500kmの震央距離では、大森係数として10km/sが、さらに遠い3000km以上では、12から15km/sの値が係数として使用可能なことがわかった。これによる遠地地震の記録を用いた教材も今後の開発課題としたい。

謝辞と参考文献

Win2開発者の伊東明彦氏(元宇都宮大学)からソフト提供と、win2操作ならびにP、S位相読み取りの詳細など情報提供をいただいた。加藤護氏(京都大学)には、大森公式について議論していただきました。感謝申し上げます。
<参考文献>
岡本義雄; 3Dプリンタ印刷パーツで製作する学校教材用地震計, JpGU2022, Abstract Yoshio Okamoto: "A School Seismograph System at KVIS, Thailand"-A new construction and its seismograms-, GeoSciEd VIII Campinas, 2018 Abstract "The TauP Toolkit": <https://www.seis.sc.edu/taup/>
Crotwell, H. P., T. J. Owens, and J. Ritsema (1999). The TauP Toolkit: Flexible seismic travel-time and ray-path utilities, Seismological Research Letters 70, 154-160.

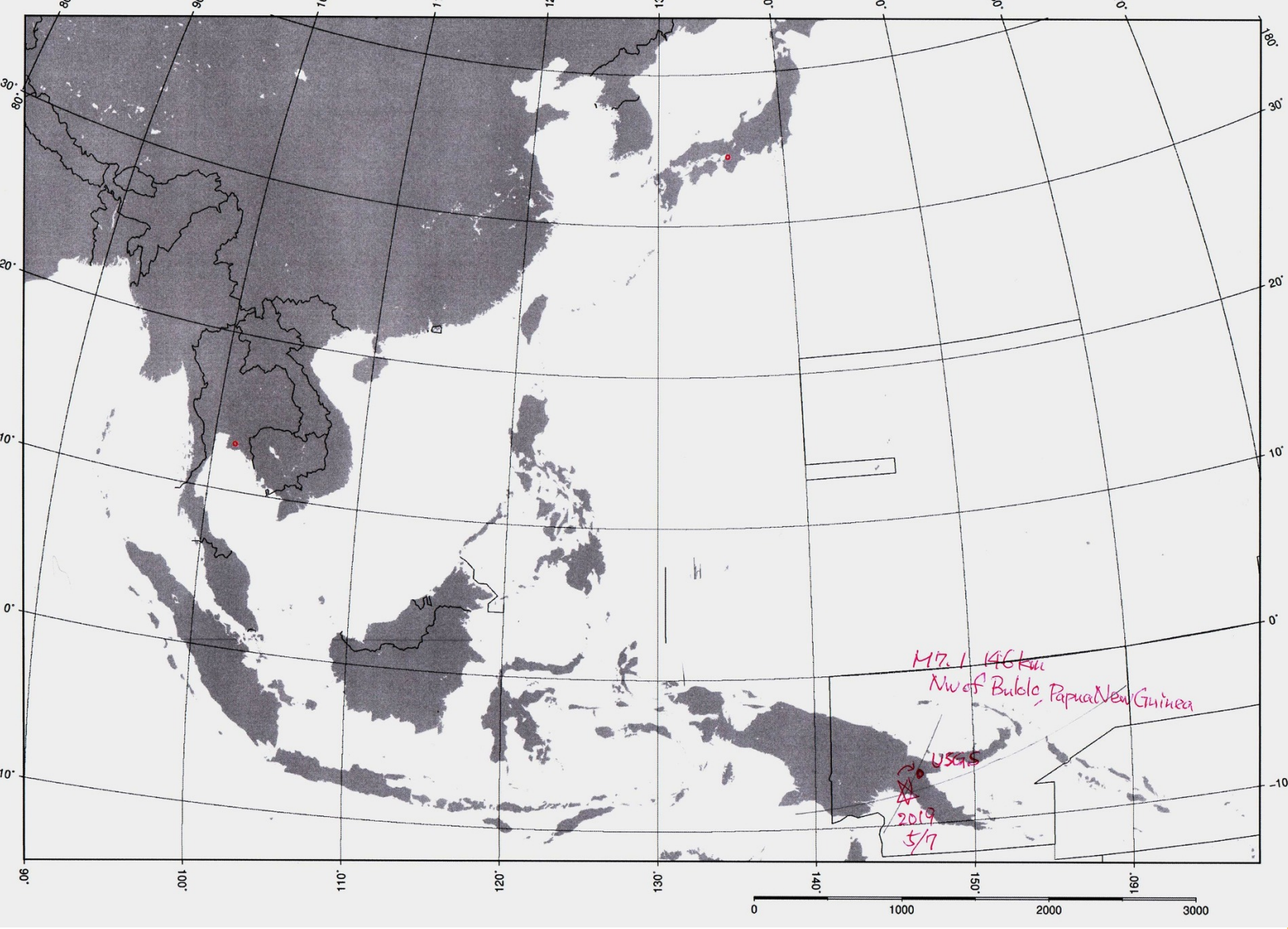
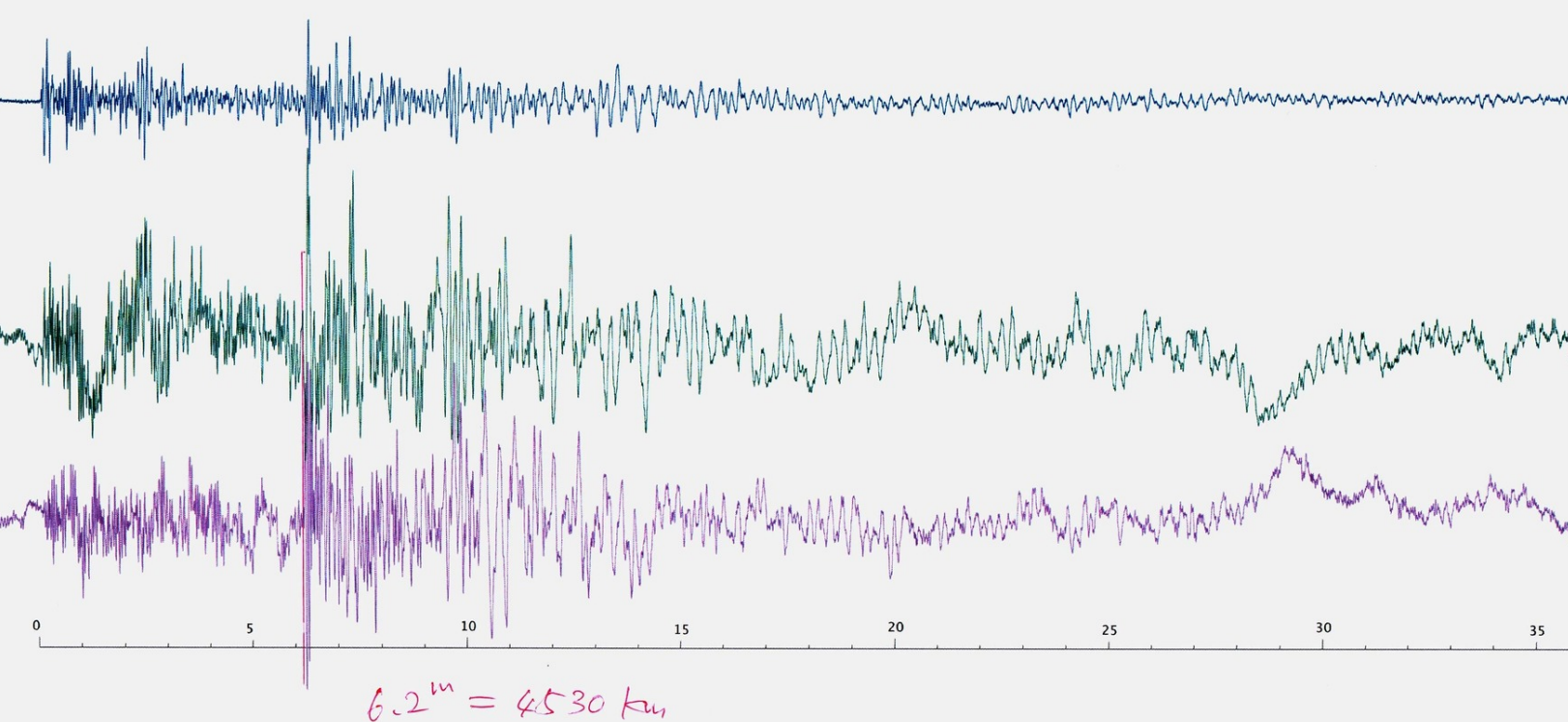
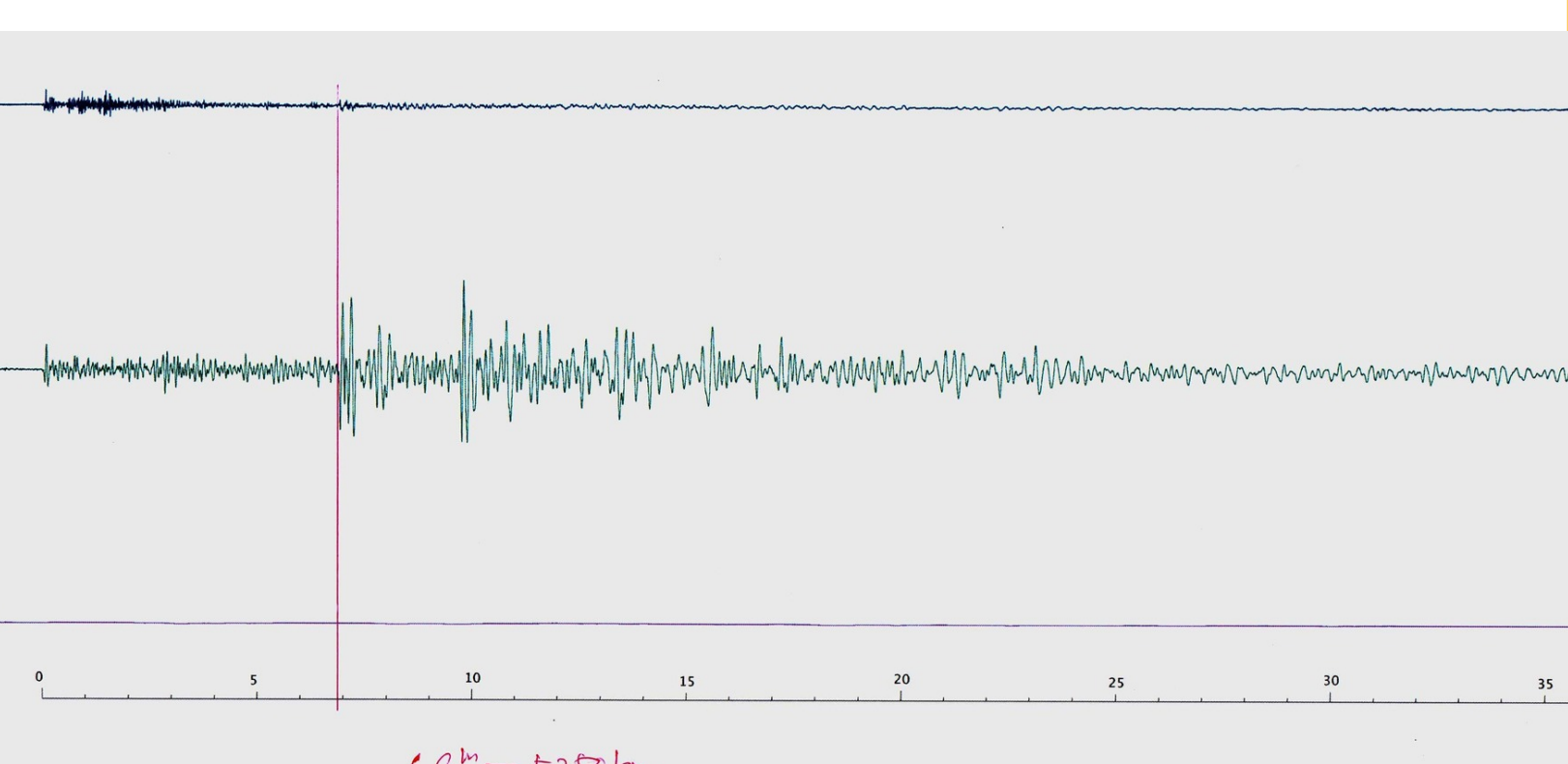
遠距離の地震波形を使用した震源作図教材と大森係数の検証(追加資料その1)

Epicenter Determination Mapping using Teleseismic Records and Verification of Omori's Distance Coefficient (Supplement 1)

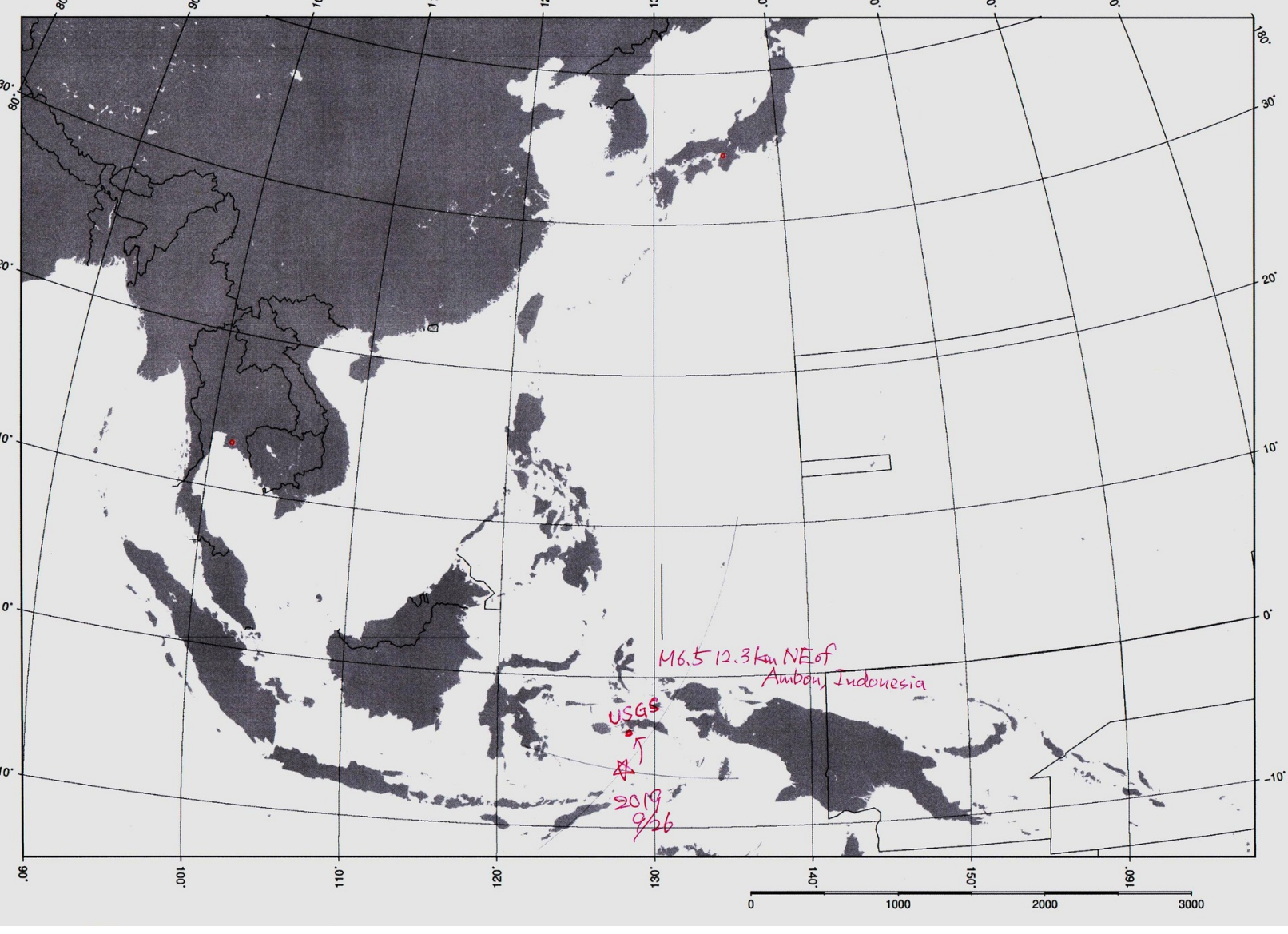
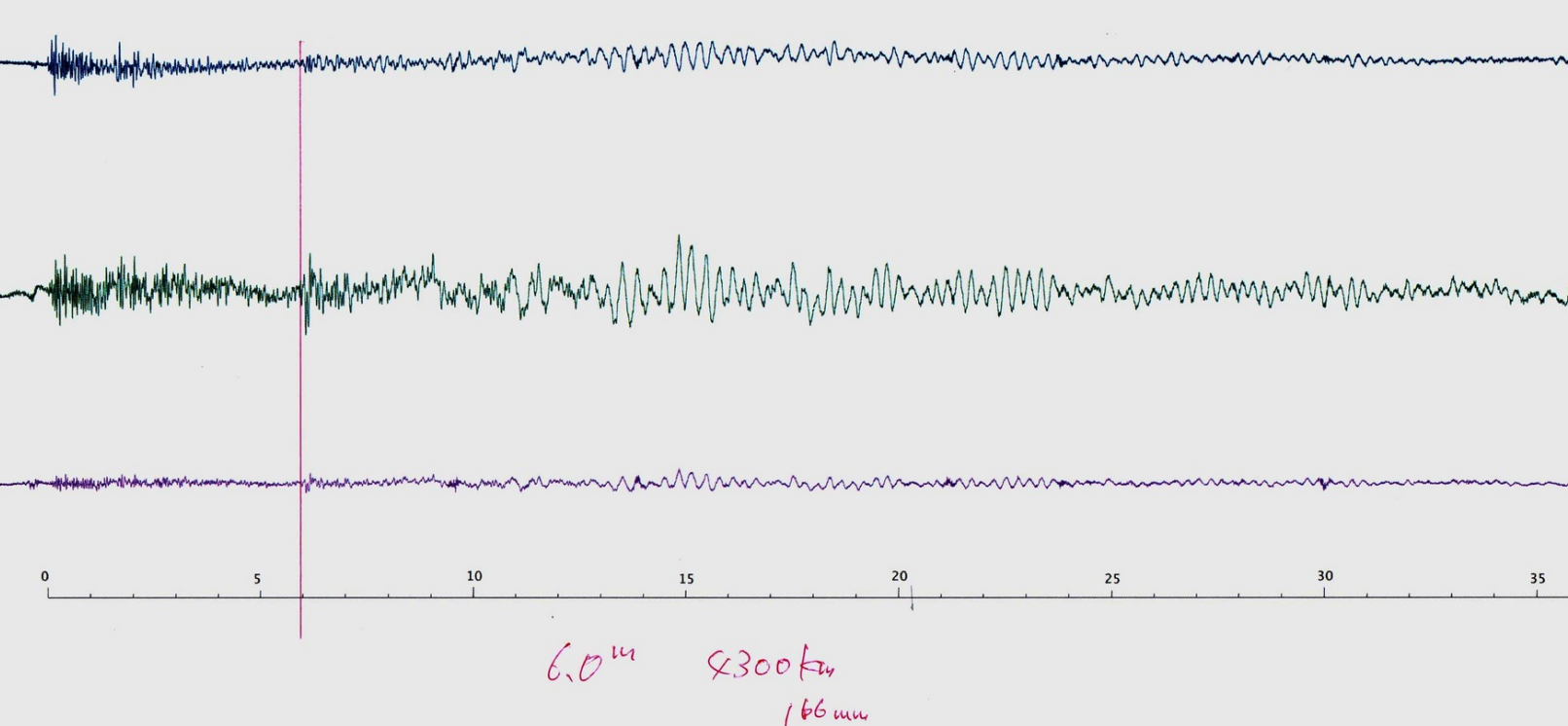
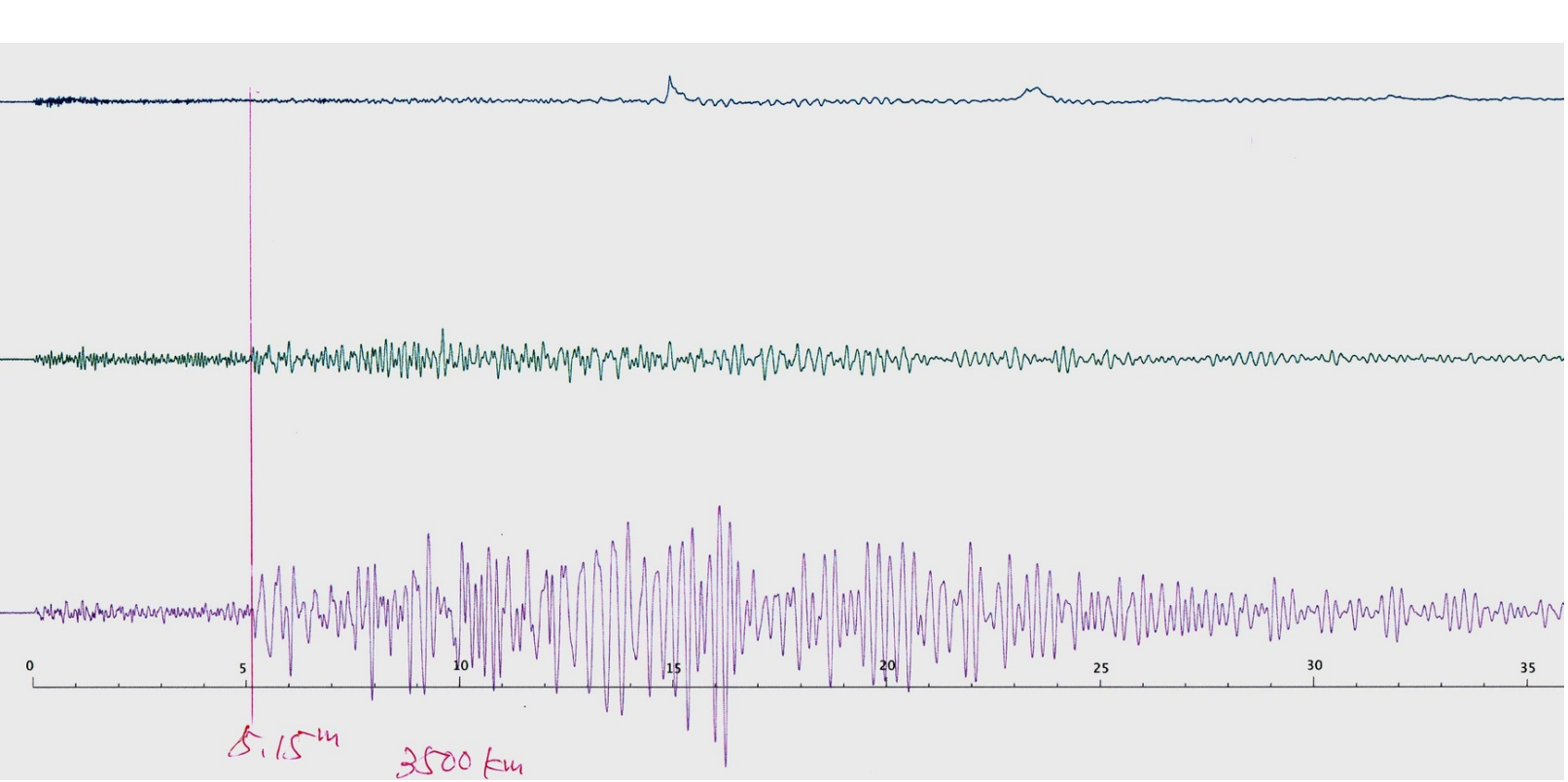
○岡本 義雄 Yoshio OKAMOTO



2019-05-07 M7.1 146km, NW of Bulolo, Papua New Guinea
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70003hqb/executive>



2019-09-26 M6.5 12.3km, NE of Ambon, Indonesia
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70005lfd/executive>



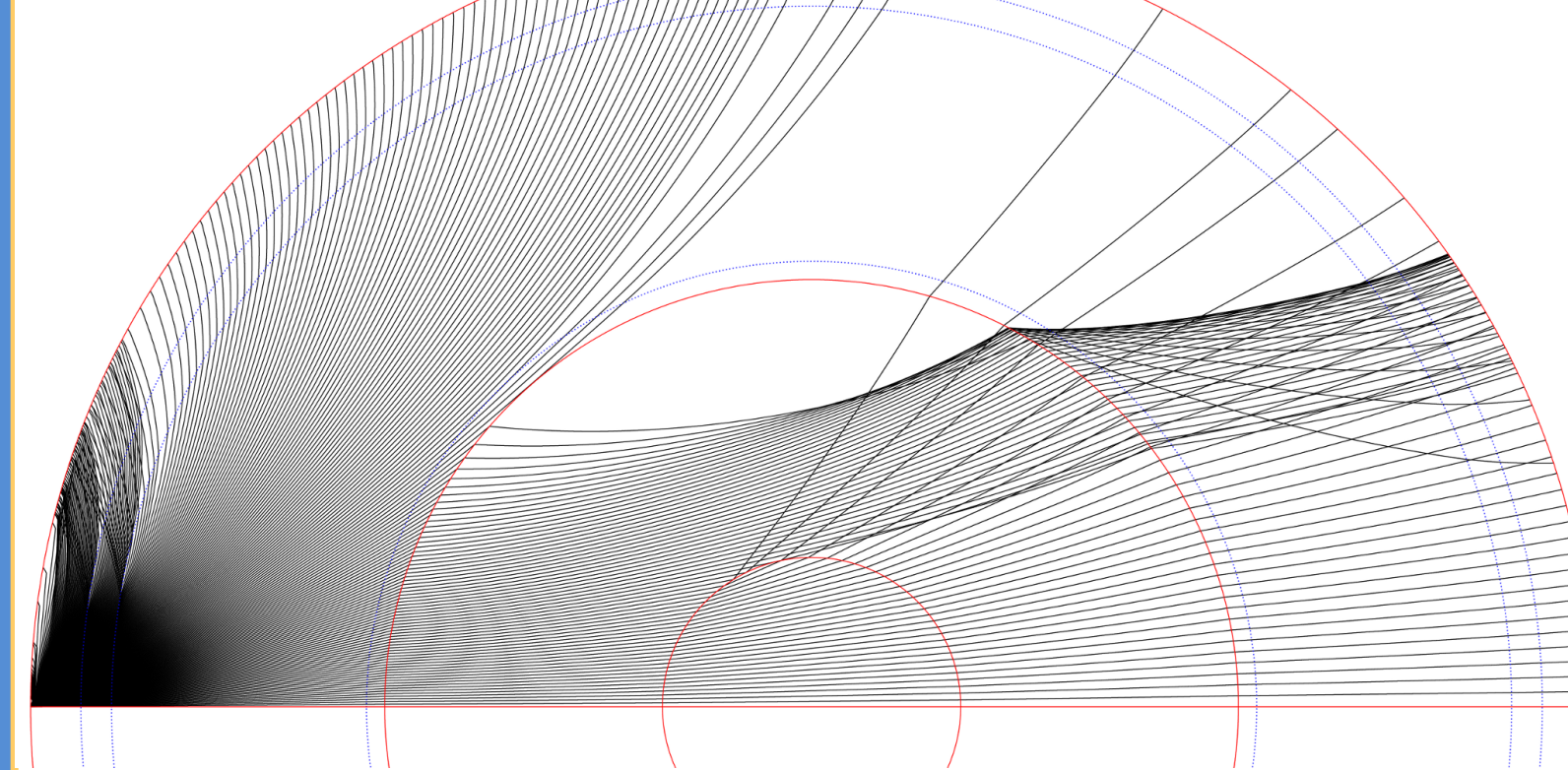
1) 地震波線描画ソフト"TauP"の走時算出機能を用いてP波, S波の到着時刻を計算し, 上記のパラメータを算出.

Deg	P-wave		S-wave		L(surface)		L(mean)		Seismic_Ray_Path			
	L [km]	T [sec]	L [km]	T [sec]	L [km]	T [sec]	L [km]	T [sec]	mean Vs [km/s]	Mean L [km]	S-P [sec]	K [km/s]
16	8873.97	759.10	9476.06	9138.87	1430.51	9698.07	9587.06	6.39	9006.42	671.42	13.41	14.29
17	8529.54	737.93	9020.13	8815.11	1391.52	9241.57	9130.85	6.33	8672.33	653.59	13.27	13.97
18	8169.14	715.03	8555.26	8467.67	1349.26	8769.26	8662.26	6.28	8318.40	634.23	13.12	13.66
19	7791.64	690.29	8080.85	8096.72	1302.79	8277.66	8179.25	6.21	7944.18	612.50	12.97	13.35
20	7399.42	663.85	7600.78	7708.64	1253.22	7773.27	7687.03	6.15	7554.03	589.37	12.82	13.04
21	6997.11	636.04	7120.54	7294.94	1199.18	7260.69	7190.61	6.08	7146.03	563.14	12.69	12.77
22	6587.20	607.02	6642.20	6865.42	1141.98	6740.55	6691.38	6.01	6726.31	534.96	12.57	12.51
23	6171.44	576.94	6167.53	6420.51	1081.68	6218.52	6193.02	5.94	6295.97	504.74	12.47	12.27
24	5748.67	545.59	5695.31	5963.17	1018.60	5685.83	5690.57	5.85	5855.92	473.01	12.38	12.03
25	5321.07	513.14	5224.41	5489.01	952.12	5140.92	5182.67	5.77	5405.04	438.98	12.31	11.81
26	4879.51	478.72	4746.50	4982.40	879.15	4563.36	4654.93	5.67	4930.96	400.43	12.31	11.62
27	4416.51	441.69	4248.13	4431.85	798.36	3912.40	4080.26	5.55	4424.18	356.67	12.40	11.44
28	3886.05	397.80	3680.17	3749.97	695.10	2807.24	3243.71	5.39	3818.01	297.30	12.84	10.91
29	3234.94	342.02	2981.07	2995.00	578.80	2543.36	2762.22	5.17	3114.97	236.78	13.16	11.67
30	2340.99	262.26	2015.05	2656.22	527.57	1919.17	1967.11	5.03	2498.60	265.31	9.42	7.41
31	2636.86	292.88	2374.42	2359.19	482.22	2187.64	2281.03	4.89	2498.03	189.33	13.19	12.05
32	3206.01	351.15	3041.11	2653.82	537.80	2836.87	2938.99	4.93	2929.91	186.65	15.70	15.75
33	3002.32	333.62	2847.68	3069.01	616.17	2815.40	2831.54	4.98	3035.67	282.55	10.74	10.02
34	2798.45	314.51	2642.02	2909.91	591.87	2666.54	2654.28	4.92	2849.18	277.36	10.27	9.57
35	2646.28	291.90	2404.93	2747.90	566.22	2511.05	2457.99	4.85	2647.09	274.32	9.65	8.96
36	2201.65	257.80	2057.58	2575.24	537.69	2338.49	2198.03	4.79	2388.45	279.89	8.53	7.85
37	1859.67	223.33	1710.24	2377.53	503.58	2112.77	1911.50	4.72	2118.60	280.25	7.56	6.82
38	2449.12	290.06	2358.36	2072.23	447.53	1641.56	1999.96	4.63	2260.68	157.46	14.36	12.70
39	2312.16	276.79	2232.25	1901.79	417.24	1922.28	2077.27	4.56	2106.97	140.45	15.00	14.79
40	2178.22	263.49	2108.69	2283.05	497.59	2447.16	2277.92	4.59	2230.63	234.11	9.53	9.73
41	2048.77	250.29	1989.03	2455.33	536.13	2332.89	2160.96	4.58	2252.05	285.84	7.88	7.56
42	1927.55	237.73	1877.19	2334.42	513.97	2225.65	2051.42	4.54	2130.98	276.24	7.71	7.43
43	1827.36	227.33	1786.24	2225.19	493.67	2134.17	1960.20	4.51	2026.28	266.34	7.61	7.36

2) 既開発の筆者の地震波線描画ソフト(未公表)を用いて, 同様のパラメータを算出.

Deg.	Rad	Ls [km]	Ts [sec]	Ts [min]	Vs [mean]	Theta	Epi_C	Distan L=(Lp+Ks)/2	S-P time [sec]	K (Omori CF)	K (Surface)	
16	1.56	9138.87	1430.51	23.84	6.39	85.28	9476.06	9006.42	671.42	639.35	14.09	13.41
17	1.49	8815.11	1391.52	23.19	6.33	81.18	9020.13	8672.33	653.59	618.69	14.02	13.27
18	1.42	8467.67	1349.26	22.49	6.28	77.00	8555.26	8318.40	634.23	597.38	13.92	13.12
19	1.34	8096.72	1302.79	21.71	6.21	72.73	8080.85	7944.18	612.50	574.44	13.83	12.97
20	1.26	7708.64	1253.22	20.89	6.15	68.41	7600.78	7554.03	589.37	550.37	13.73	12.82
21	1.18	7294.94	1199.18	19.99	6.08	64.08	7120.54	7146.03	563.14	525.12	13.61	12.69
22	1.10	6865.42	1141.98	19.03	6.01	59.78	6642.20	6726.31	534.96	499.00	13.48	12.57
23	1.02	6420.51	1081.68	18.03	5.94	51.26	5695.31	6084.59	536.09	447.62	13.59	11.35
24	0.94	5963.17	1018.60	16.98	5.85	47.02	5224.41	5642.12	505.46	419.66	13.44	11.16
25	0.85	5489.01	952.12	15.87	5.77	42.72	4746.50	5184.26	473.40	390.64	13.27	10.95
26	0.76	4982.40	879.15	14.65	5.67	38.23	4248.13	4699.46	437.46	359.23	13.08	10.74
27	0.67	4431.85	798.36	13.31	5.55	33.12	3680.17	4158.95	400.56	323.46	12.86	10.38
28	0.55	3749.97	695.10	11.58	5.39	26.83	2981.07	3492.46	353.07	278.12	12.56	9.89
29	0.42	2995.00	578.80	9.65	5.17	18.14	2015.05	2667.99	316.54	216.71	12.31	8.43
30	0.37	2656.22	527.57	8.79	5.03	21.37	2374.42	2646.54	234.69	231.69	11.42	11.28
31	0.32	2359.19	482.22	8.04	4.89	27.37	3041.11	2782.60	131.07	263.99	10.54	21.23
32	0.38	2653.82	537.80	8.96	4.93	25.63	2847.68	2828.07	204.18	258.86	10.93	13.85
33	0.45	3069.01	616.17	10.27	4.98	23.78	2642.02	2928.73	301.66	257.68	11.37	9.71
34	0.43	2909.91	591.87	9.86	4.92	21.64	2404.93	2728.09	299.96	242.14	11.27	9.09
35	0.41	2747.90	566.22	9.44	4.85	18.52	2057.58	2474.78	308.42	220.16	11.24	8.02
36	0.38	2575.24	537.69	8.96	4.79	15.39	1710.24	2217.45	314.37	196.70	11.27	7.05
37	0.35	2377.53	503.58	8.39	4.72	21.23	2358.36	2413.33	213.52	225.34	10.71	11.30
38	0.30	2072.23	447.53	7.46	4.63	20.09	2232.25	2192.20	170.74	211.00	10.39	12.84
39	0.28	1901.79	417.24	6.95	4.56	18.98	2108.69	2040.00	153.75	200.79	10.16	13.27
40	0.34	2283.05	497.59	8.29	4.59	17.90	1989.03	2165.91	247.30	207.46	10.44	8.76
41	0.38	2455.33	536.13	8.94	4.58	16.89	1877.19	2191.44	298.40	208.24	10.52	7.34
42	0.36	2334.42	513.97	8.57	4.54	16.08	1786.24	2080.89	286.64	199.28	10.44	7.26
43	0.34	2225.19	493.67	8.23	4.51	15.51	1723.14	1989.95	273.76	192.09	10.36	7.27
44	0.33	2137.67	477.54	7.96	4.48	14.30	1588.89	1875.95	273.58	182.04	10.31	6.86
45	0.33	2105.43	472.80	7.88	4.45	18.13	2014.33	2064.76	217.10	202.83	10.18	9.51
46	0.40	2577.66	579.23	9.65	4.45	0.75	83.39	1343.41	561.36	81.94	16.39	2.39

Seismic-Ray (isapp1, Kennett & Engdahl, 1991)
 作成: Okamoto, 2019 Sep 2012

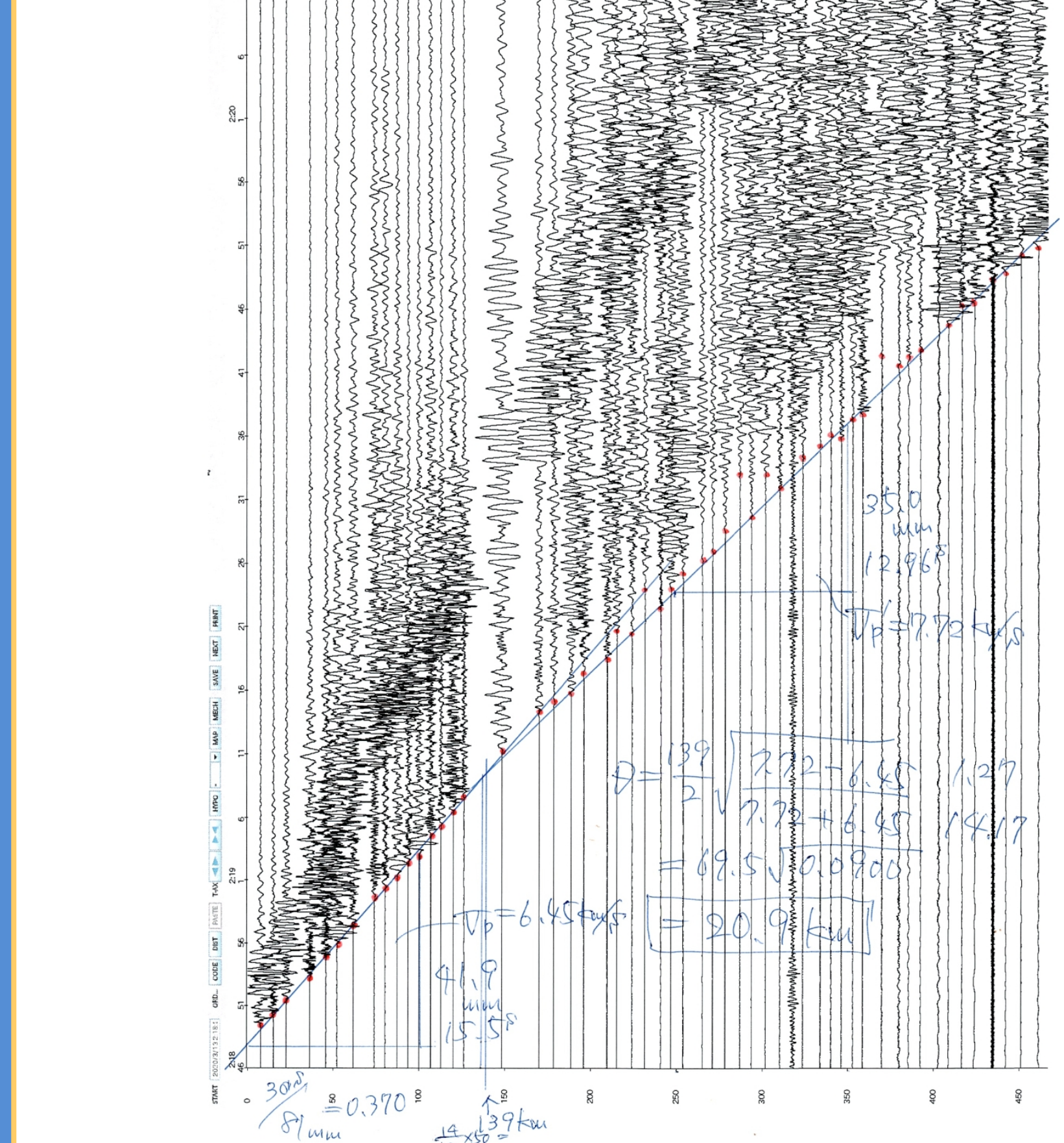


4) 上記手法では, 近地の地震の解析が不可能なので, 局地的な地震から近い観測点(震央距離約1000km未満)の波形データをwin2(伊東明彦氏作成)を用いて, 波形ペーストアップ, ならびにP, S位相ピックアップを行い, それらの走時からPS時間を算出. 上と同様のプロットを行う. この図の作成などの詳細については, 昨年度, 日本地学教育学会において, すでに連名で発表済みである. そちらの予稿集を参照していただきたい.

<文献>
 岡本・井村: Hinet地震波形データを用いた, 走時曲線教材の作成と高校生実習, 2021年日本地学教育学会講演予稿集
 および筆者Webサイト

http://www.yossi-okamoto.net/conference/Okamoto-Imura_JSESE_Poster_2021.pdf

http://yossi-okamoto.net/Seagull_Lab/TT/index.html



追記. 左記自作ソフトでの走時計算では, グラフにばらつきが見られる. この原因を考える. これらのばらつきは特に, 震央距離が2000-4000kmあたりで著しい. これは左記地震波線図でみられるように, この距離において, 内部に入射した波の経路が地球内部の地震波速度の不連続により, マルチプルな波線を描くことを反映している. この場合, S-P時刻は波線に沿った時間から計算しているために, このようなばらつきが見られる. 一方TauPによる計算では, それらの波線のうち, 最速(最短時間)のものを用いて, プロットしているために, これらのばらつきが生じていない点に留意したい.

遠距離の地震波形を使用した震源作図教材と大森係数の検証(追加資料その2)

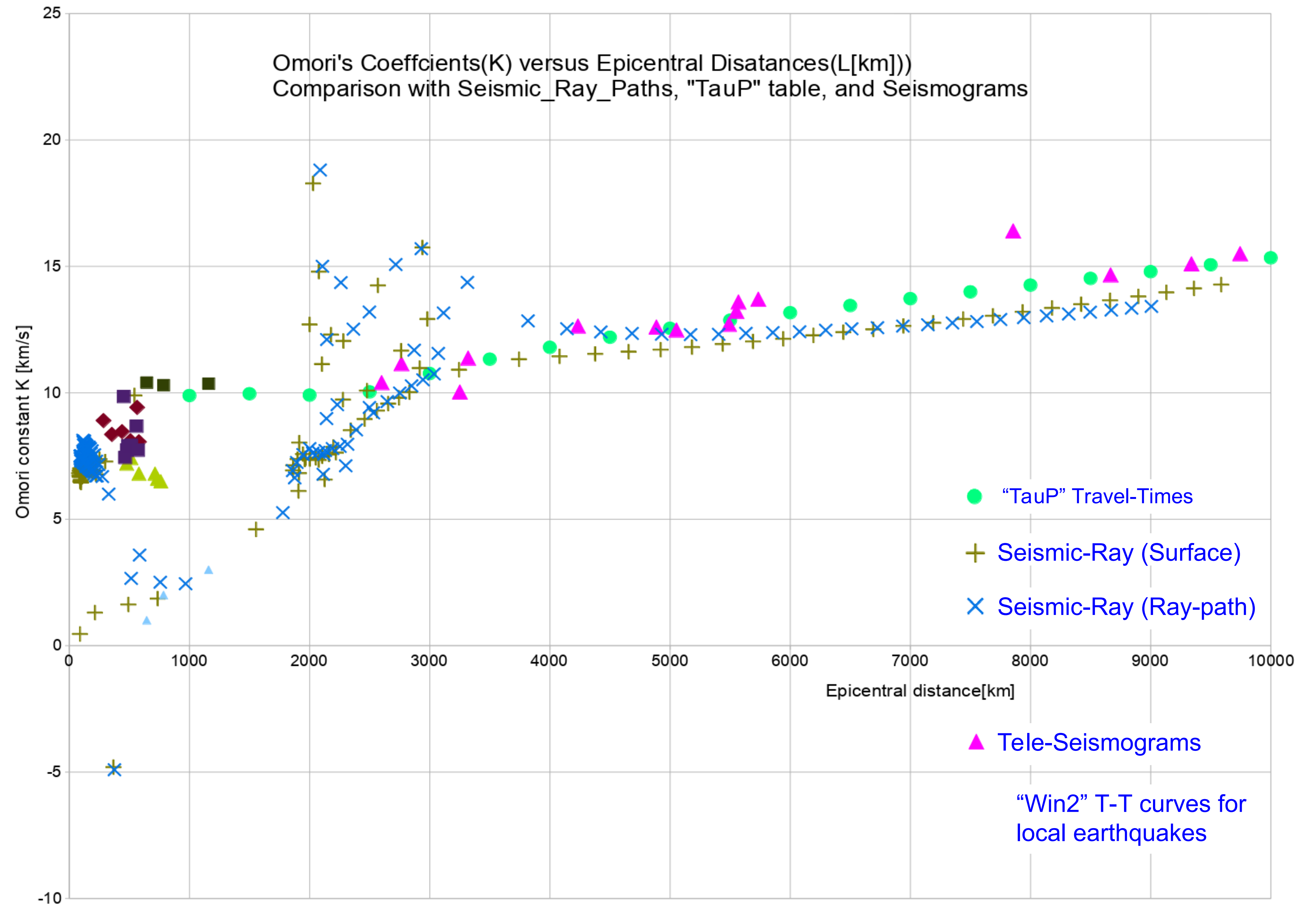
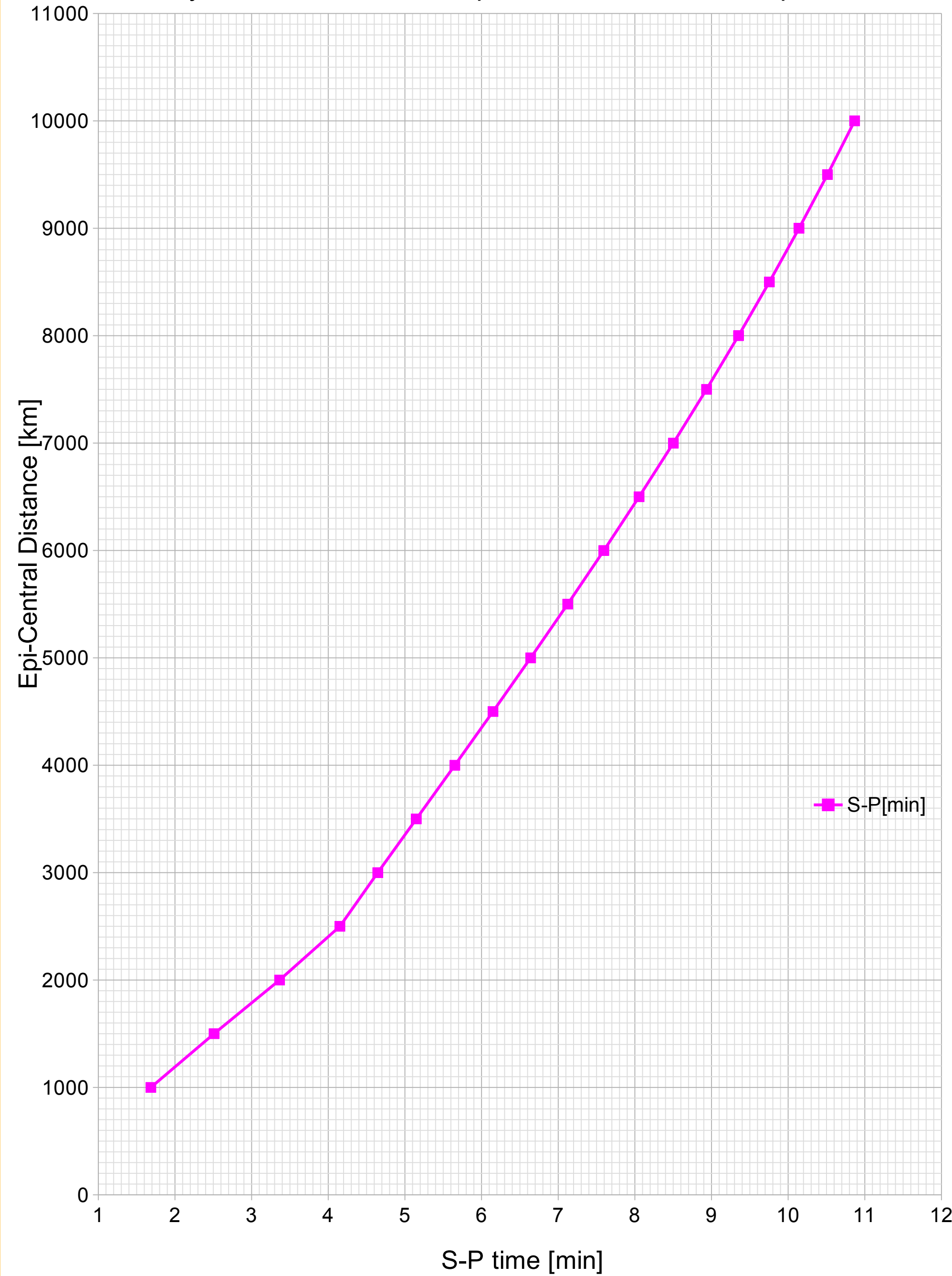
Epicenter Determination Mapping using Teleseismic Records and
Verification of Omori's Distance Coefficient (Supplement 2)

○岡本 義雄 Yoshio OKAMOTO



<文献>
筆者Webサイト http://yossi-okamoto.net/Seagull_Lab/TT/index.html

Epi-Central Distance vs. S-P time
by "TauP" travel time: <https://www.seis.sc.edu/taup/>



遠距離の地震波形を使用した震源作図教材と大森係数の検証(追加資料その3)

*Epicenter Determination Mapping using Teleseismic Records and
Verification of Omori's Distance Coefficient (Supplement 3)*

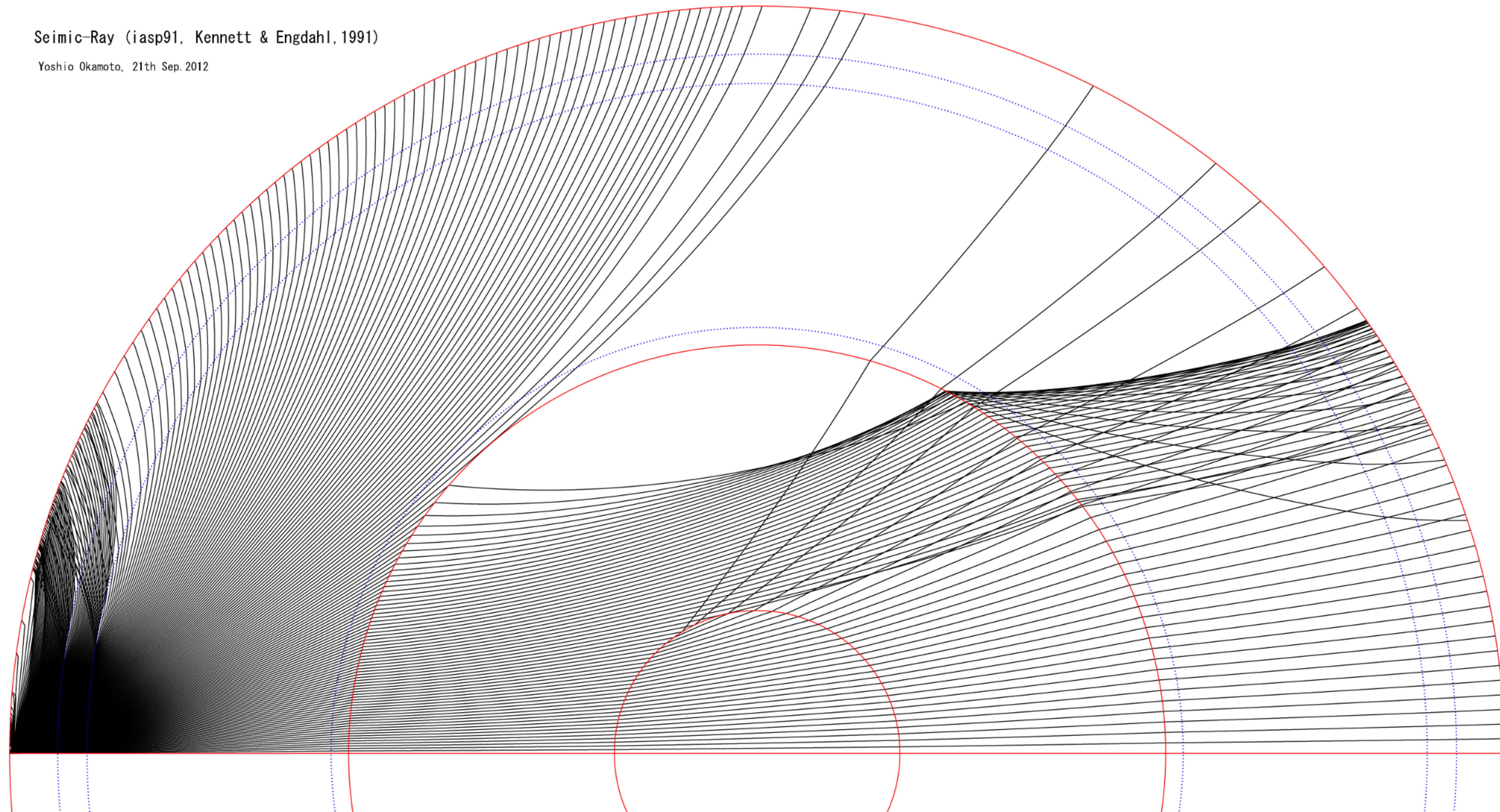
○岡本 義雄 Yoshio OKAMOTO

<作成方法を解説した文献>

筆者Webサイト内 (<http://www.yossi-okamoto.net/>)
地球内部波線図
http://seagull.stars.ne.jp/seismic_ray/index.html

Seismic-Ray (iasp91, Kennett & Engdahl, 1991)

Yoshio Okamoto, 21th Sep. 2012



Epicenter Determination Mapping using Teleseismic Records and Verification of Omori's Distance Coefficient (ePoster)

○ Yoshio OKAMOTO

http://www.yossi-okamoto.net/index_e.html yossi.okamoto@gmail.com



1. Outline

The Omori formula for the epicenter distance is described in high school textbooks, but surprisingly few materials use actual seismograms (e.g., Okamoto et al., 2016). The author has installed home-built seismographs for teaching materials at his home in Osaka and at a science high school (KVIS) in Thailand respectively, and has recorded earthquakes (Okamoto, 2018). During a couple of years of observation, we have collected a considerable number of seismograms of local and foreign earthquakes. We selected some of the identical earthquake records from Japan and Thailand and prepared a classroom exercise to draw an epicenter map by students. The students' epicenters were evaluated by comparing with the USGS results. At the same time, the coefficient k of Omori's epicenter distance formula, which estimates the epicenter distance from S-P times, was also examined for such a distant earthquake. Kato and Okamoto (2016) have already pointed out that the values of the Omori coefficient in high school textbooks are problematic. Here, we examine what happen on the value of these coefficients at longer distances.

2. Our seismograph system and Seismograms

Our homemade seismographs are modeled after the old JMA Type 59 displacement seismographs, consisting of a coil + neodymium magnet = electromagnetic sensor, an integrating amplifier, and a PC-based recording system using an Arduino (Please refer to the references and the present technical improvements, Okamoto, 2022a, this conference). The system can detect local earthquakes of M2 or greater and foreign earthquakes of M6.5 to M7 classes almost worldwide.

Among the seismograph records, those recorded both at the author's home (Sayama City, Osaka Prefecture) and at KVIS (Rayong District, Thailand) were selected based on the following criteria.

- (1) The earthquake must have easily readable S-P times.
- (2) The location of the epicenter on the map and the location of the observation points should be easy to understand.
- (3) The earthquakes should be scattered appropriately on the map.

The following earthquakes were selected(after the USGS results).

- 2019-12-15 M 6.8 18.0km S of Magsaysay, Philippines
- 2019-01-07 M 6.6 43.2km, Molucca Sea
- 2019-05-07 M7.1 146km, NW of Bulolo, Papua New Guinea

3. Student Exercise (Procedure)

From the seismograms at the two locations, determine the arrivals of P and S-wave by drawing auxiliary lines, then get the S-P time [min], where P is prominent on vertical signal, while S is on horizontals.

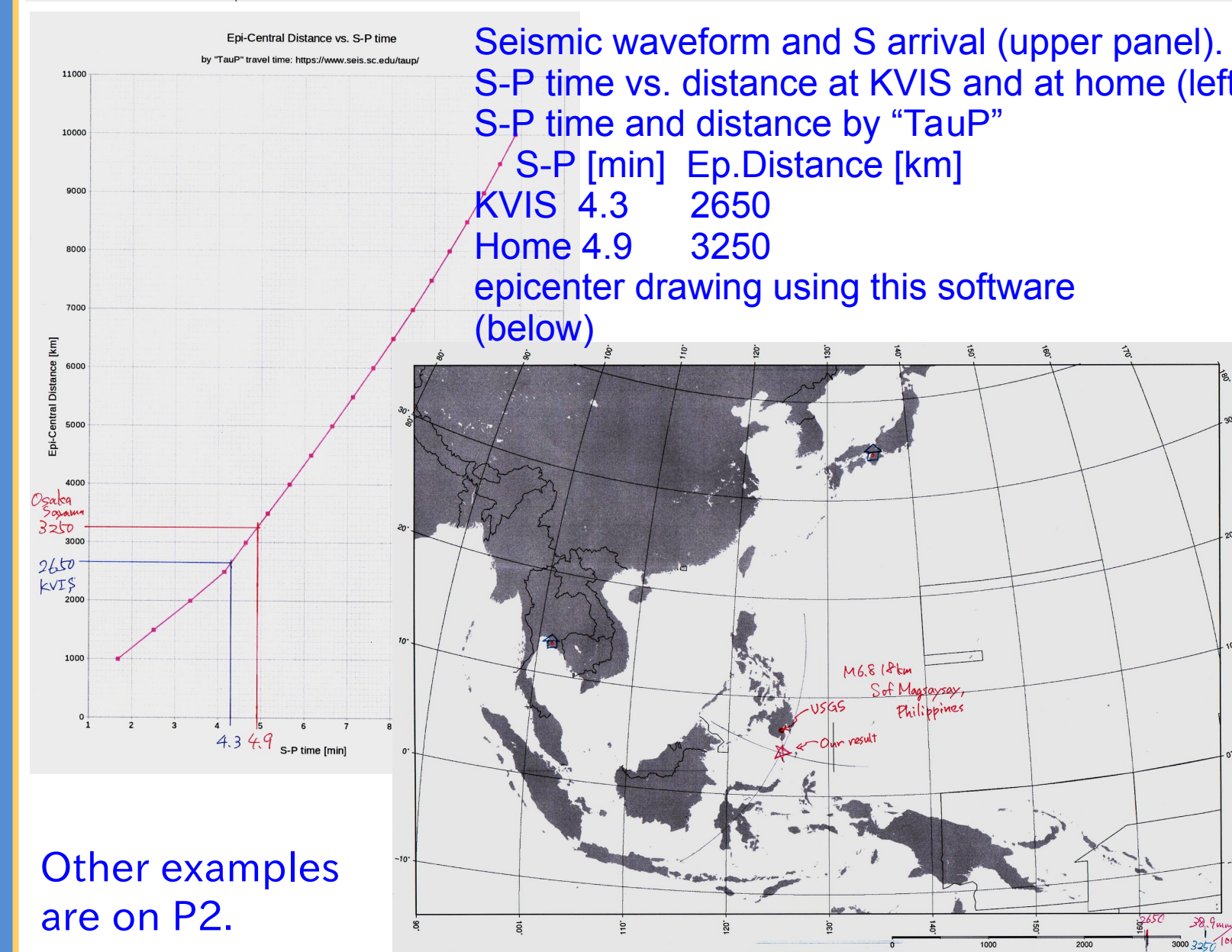
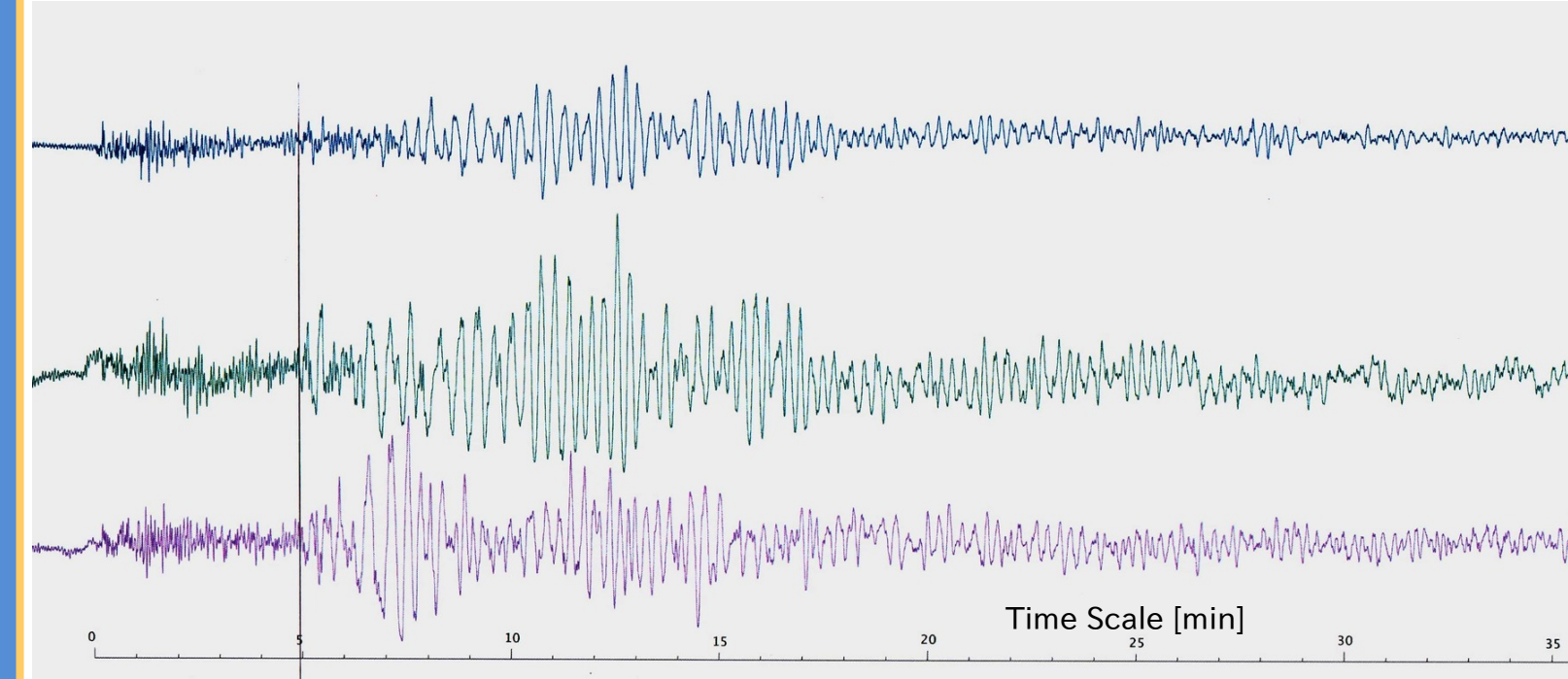
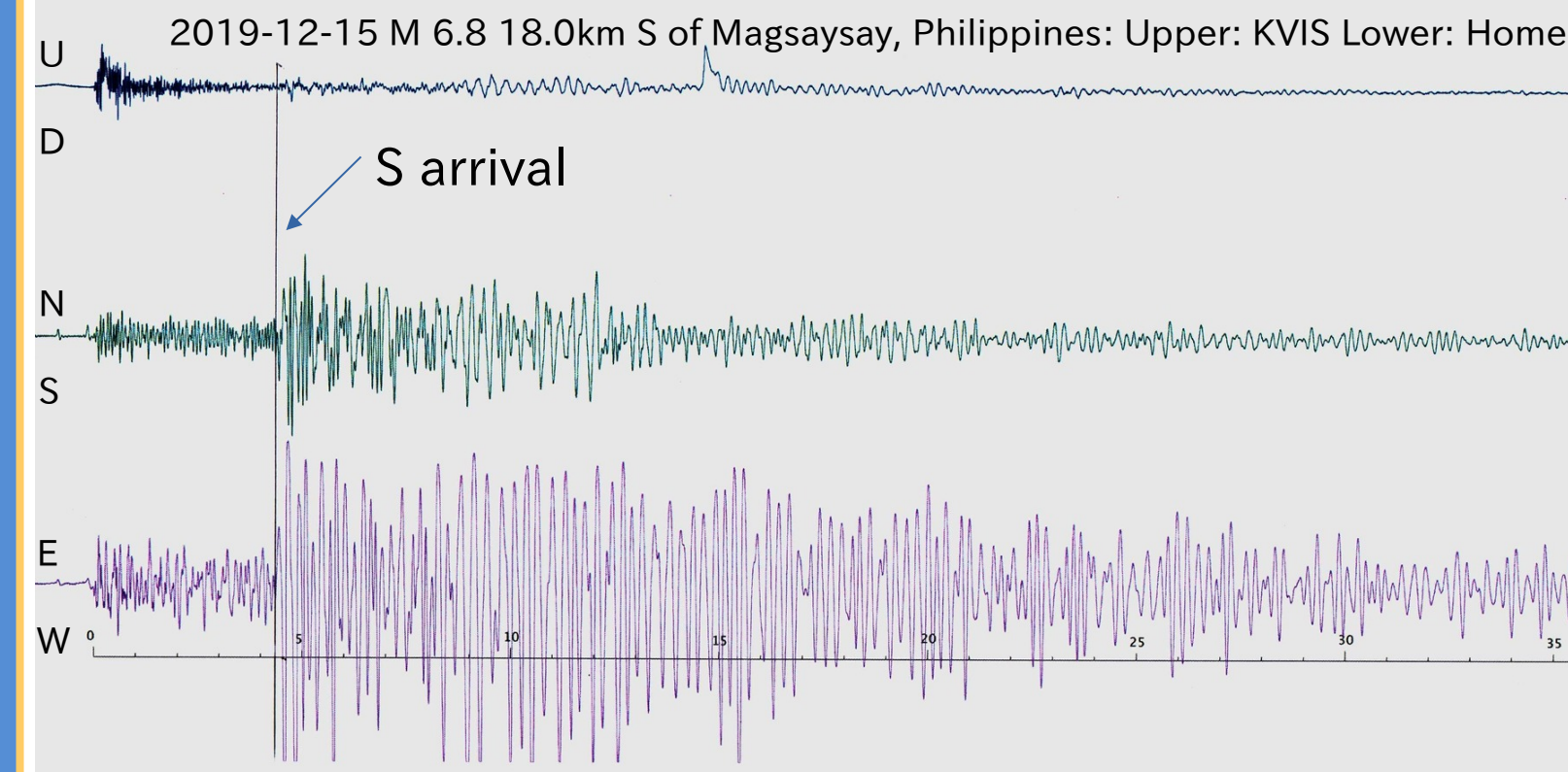
(2) From the travel time graph (right figure), determine the epicentral distance [km] by calculating the scale factor of length [km] and time [min] from the time scale in the figure.

3) From each observation point on the map, draw two circles with a compass using the epicentral distance as the radius, and find the intersection point.

4) Determine the epicenter of the two intersections based on the USGS epicentral information.

5) Plot the USGS epicenter and check the difference between the two.

4. Seismograms and Epicenter determination



Other examples are on P2.

5. Validation of Omori's Distance Coefficient

<Procedure>

- 1) Calculate arrival times of P and S waves using the following different methods in the procedure. From this, estimate the S-P time for each epicentral distance.
- 2) Calculate the Omori coefficients from the estimated S-P times and epicentral distances.
- 3) Plot a graph showing the relationship between the epicentral distances and the Omori coefficients.

<Method>

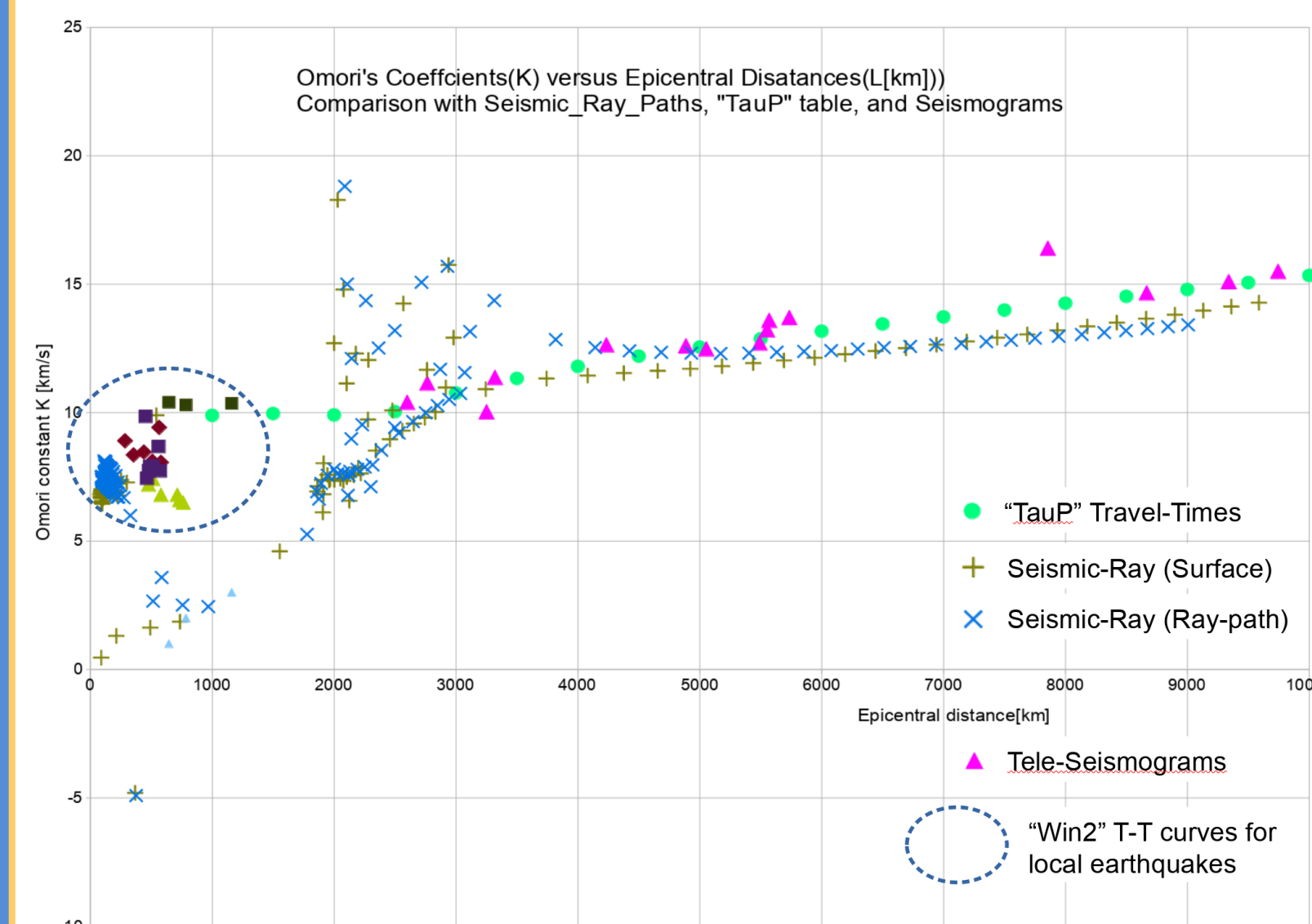
- 1) Calculate the arrival times of P and S waves using the traveltime function of the seismic path application "TauP", and calculate the above parameters.
- 2) The same parameters are calculated using the author's previously developed seismic path calculation software ("Seismic-Ray", Okamoto, unpublished).
- 3) Comparing the S-P time calculated from the real seismograms and the estimated epicentral distances already calculated at the previous exercises.
- 4) Since the analysis of near-field earthquakes is not possible with the above method, the waveform data of near-field stations (epicentral distance less than about 1000 km) from local earthquakes are derived from another software named win2 (created by Akihiko Ito), and P and S phase pickups are made from the paste-up images by win2. The same process as above is made.

For above four methods (for details, see this poster; pages 2 and 3).

The two modes of S-P times of Seismic-Ray are calculated along the earth's surface (corresponding to the epicentral distance) and along the seismic wave path (corresponding to the source distance).

<Results>

The following graphs show the relationship between all methods' calculated Omori's coefficients versus epicentral distances.



6. Results and Discussions

<Epicenter Center Mapping>

Although the epicenter is drawn from the seismograms from only two locations, with minor errors compared to the USGS epicenter.

Of course, two locations are not enough. The author's seismographs in Thailand are currently installed in two high schools, including KVIS, but one of them is currently out of service due to equipment trouble. So, we hope to repair it in the future. Another set is scheduled to be installed in a high school in northern Thailand this year.

Therefore our exercises will be sophisticated by employing these three observation sites in the future.

In selecting seismograms, it is essential to choose easy reading S-arrivals. It remains to be seen whether the depth of the epicenter can also be estimated.

<Verification of Omori Coefficient>

The Omori coefficient is originally based on assuming the constant velocity of the seismic layer (refraction waves through the mantle are not taken into account).

However, if we take such a simple assumption, the student exercise will be extended to further earthquakes. For this purpose, the trend of the Omori coefficient at longer distances was investigated. As a result, the "TauP" coefficients after 1000 km show a fairly good trend of constant or increasing with distance.

Using this result, it will be possible to plot the epicenter employing seismograms at further distances. However, the following points should be considered,

- (1) The effect of the earth's roundness should be taken into account.
- (2) Only direct waveforms should be used for this purpose.
- (3) The distortion of the map should be eliminated (the equidistant map projection is preferable).

7. Conclusions

Seismograms recorded at two points in Japan and overseas are used for epicenter mapping exercises for students. In the future, we would like to increase the number of seismic observatories and provide more accurate and easy plottable seismograms.

Validating the Omori coefficient, we found that it is possible to discuss the Omori coefficient even for overseas earthquakes beyond the range of the usual definition in the limited use of classrooms. In particular, the Omori coefficient of 10 km/s is plausible for epicentral distances between 1000 and 2500 km, and for more distant distances beyond 3000 km, 12 to 15 km/s were reasonable. We will develop educational materials using such records of overseas earthquakes in the future.

8. Acknowledgments and References

Akihiko Ito (Em. Prof. Utsunomiya University), Win2 developer, provided software and information on Win2 operation and details of P, S phase pickings. Dr. Mamoru Kato (Kyoto University) discussed the Omori formula. I would like to express my gratitude to them.

<References>

- Okamoto, Y.; Seismograph for school teaching material made by 3D printed parts, JpGU2022, Abstract.
- Crotwell, H. P., T. J. Owens, and J. Ritsema (1999). The TauP Toolkit: Flexible seismic travel-time and ray-path utilities, Seismological Research Letters 70, 154–160.
- Kato M and Okamoto Y.; On Omori Coefficients for Distances and Their Use in Science Education, Zisin 2, 69, 35-39, 2016