

応答スペクトルに関する地震動予測地図の説明資料

2025 年 9 月 防災科学技術研究所

1. はじめに

今回作成した応答スペクトルに関する地震動予測地図は、「応答スペクトルに関する地震動ハザード評価（試作版）」（地震調査委員会強震動評価部会、2022）のモデルおよび手法を用いている。地震活動モデルについては全国地震動予測地図 2020 年版の「平均ケース」を用いており、その詳細は地震調査委員会（2021）にあるのでそれを参照することができる。一方、地震動予測モデルについては地震調査委員会強震動評価部会（2022）で詳細には記述されていない。そこで、本資料では、主に地震動予測モデルの詳細と現時点で確認できている地震動予測モデルに関する留意点を述べる。

2. 地図の仕様

ハザードは、日本全国の基準地域メッシュ（第 3 次地域区画；約 1km 四方）ごとに計算されている。ただし、陸地が含まれないメッシュ、および周辺の地震活動モデルが構築されていない沖ノ鳥島、南鳥島は対象外である。なお、断層最短距離は、メッシュの中心位置（緯度、経度）で標高（深さ）ゼロとして算出している。

対象とする地震動強さ指標は、最大加速度、および減衰定数 5% の加速度応答スペクトルで、加速度応答スペクトルの周期は 0.1 秒、0.2 秒、0.3 秒、0.5 秒、1.0 秒、2.0 秒、3.0 秒、5.0 秒の 8 ポイントである。なお、地震ハザードステーション J-SHIS では、擬似速度応答スペクトルの表示も用意している。

計算値は、確率論的地震動予測地図における工学的基盤（ $V_s=400\text{m/s}$ ）上である。深部地盤モデルは全国地震動予測地図 2020 年版で採用されている J-SHIS V3.2（地震調査委員会、2021、先名・他、2023）である。なお、後述のように実際の計算は $V_s=400\text{ m/s}$ 上として行っている。

3. 地図作成に用いた地震動予測モデル

応答スペクトルに関する地震動予測地図の作成には、Morikawa and Fujiwara (2013) に基づくモデル（MF13）を用いている。ただし、地盤増幅に関する補正項の係数版（森川・藤原、2014）およびフィリピン海プレートで発生する深さが 60 km 程度より浅いプレート内地震に対する追加補正項（森川・藤原、2015）を適用している。なお、Morikawa and Fujiwara (2013) では、地震規模（モーメントマグニチュード； M_w ）に関して 1 次式と 2 次式の二つのモデルが示されているが、 M_w の 2 次式を用いる。

最大加速度または周期 T 秒の加速度応答スペクトル（減衰定数 5%） $A(T)$ （単位は cm/s^2 ）は、以下の式で表される。

$$\log_{10} A(T) = a(T) \cdot (M_w' - 16)^2 + b_k(T) \cdot X + c_k(T) - \log_{10} (X + d(T) \cdot 10^{0.5M_w'})$$

$$+ G_d(T) + G_s(T) + AI(T) + PH(T) + \sigma \quad (1)$$

$$M_w' = \min(M_w, 8.2)$$

ここで、 X は断層最短距離（単位は km）、 $a(T)$, $b_k(T)$, $c_k(T)$, $d(T)$ は回帰係数であり、下付きの k は地震タイプ (1: 地殻内地震、2: 海溝型プレート間地震、3: 海溝型プレート内地震) 別の係数であることを表す。

$G_d(T)$ は深部地盤に関連する揺れやすさに対応する補正項で

$$G_d(T) = p_d(T) \cdot \log_{10} \{ \max(D_{lmin}(T), D_{1400}) / 300 \} \quad (2)$$

D_{1400} : 評価地点における $V_s = 1400$ m/s 層上面深さ（単位は m）
 $p_d(T)$, $D_{lmin}(T)$: 回帰係数

と表わされる。 D_{1400} は、全国地震動予測地図 2020 年版で用いられている深部地盤モデル (J-SHIS V3.2; 藤原・他、2023) による値で、 $V_s = 1400$ m/s 層が無い評価地点においてはそれよりも速くかつ $V_s = 1400$ m/s に最も近い速度層の上面深さとしている。ただし、深部地盤モデルが無い小笠原諸島などについては、 $G_d(T) = 0$ としている。

$G_s(T)$ は浅部地盤に関連する揺れやすさに対応する補正項であり、

$$G_s(T) = p_s(T) \cdot \log_{10} \{ 400 / 350 \} \doteq 0.058 \times p_s(T) \quad (3)$$

$p_s(T)$: 回帰係数

で表される。ここでは、 $AVS30 = 400$ m/s 条での評価である。

$AI(T)$ は、前弧側と背弧側の減衰特性の違いに対応する補正項である。太平洋プレートの地震（東北日本）に対しては、

$$AI_{NE}(T) = \gamma_{NE} \cdot X_{vf} \cdot (\max\{H, 30\} - 30) \quad (4)$$

X_{vf} : 評価地点から火山フロントまでの最短距離（単位は km）
 H : 震源の深さ（単位は km）
 γ_{NE} : 回帰係数

で表される。なお、 X_{vf} は、背弧側では負の値とする。火山フロントの位置は、太平洋プレートの地震（東北日本）は表 1 に示す緯度、経度を直線で結んだもの（藤原・他、2009）を用いる。南関東地域以南においては顕著でない（森川・他、2006）ことを踏まえ、北緯 36.5 度以北の評価地域に対して適用し、北緯 35.5 度以南には適用しない。北緯 35.5 度から 36.5 度の間は評価メッシュの中心緯度を λ として、 $AI_{NE}(T) \times (\lambda - 35.5)$ とする。

フィリピン海プレートの地震（西南日本）に対しては、

$$AI_{SW}(T) = \gamma_{SW} \cdot \min(X_{vf}, 75) \cdot (H - 30) \quad (5)$$

γ_{SW} : 回帰係数

で表される。火山フロント位置は表 2 に示す緯度、経度を直線で結んだもの（地震調査委員

会, 2009、および藤原・他, 2009) を用いる。ただし、適用するのは九州地域から南西諸島にかけての深さ 60km 程度以深のプレート内地震における、東経 136.9 度以西の評価地域に対してのみである。なお、震源の深さ H は太平洋プレートの地震も含めて断層面の中心深さを採用する。

$PH(T)$ は、上述の $AI_{sw}(T)$ を適用「しない」、比較的浅いフィリピン海プレート内地震に適用する追加補正項である。他のタイプの地震に対してはゼロとする。

σ (ばらつき) は対数正規分布を仮定した場合の標準偏差であるが、ここでは、確率論的地震動予測地図で (工学的基盤上の最大速度に) 適用しているものをそのまま用いる。すなわち、活断層などの浅い地震では $\log$ 断層最短距離 (X ; km) に依存する、

$$\sigma = \begin{cases} 0.23 & X \leq 20 \text{ km} \\ 0.23 - 0.03 \cdot \frac{\log_{10}(X/20)}{\log_{10}(30/20)} & 20 \text{ km} < X \leq 30 \text{ km} \\ 0.20 & 30 \text{ km} < X \end{cases} \quad (6)$$

海溝型地震では振幅に依存する、

$$\sigma = \begin{cases} 0.20 & PV \leq 25 \text{ cm/s} \\ 0.20 - 0.05 \cdot \frac{PV-25}{25} & 25 \text{ cm/s} < PV \leq 50 \text{ cm/s} \\ 0.15 & 50 \text{ cm/s} < PV \end{cases} \quad (7)$$

である。ここで、 PV は司・翠川 (1999) の式より求められる硬質地盤 ($V_s = 600 \text{ m/s}$) 上での最大速度 (cm/s) である。

各係数の値は付録に示す。なお、今回地図を作成していない周期も含めた係数は、ウェブページ <https://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/mf2013/> よりダウンロードできる。

表 1 太平洋プレートの地震に関する火山フロント基準点位置

緯度 [° N]	45.9	44.3	43.6	42.6	39.3	37.2	36.1	34.1	31.0	24.0
経度 [° E]	150.0	146.9	145.0	141.2	141.0	140.1	138.7	139.7	140.2	141.6

表 2 フィリピン海プレートの地震に関する火山フロント基準点位置

緯度 [° N]	36.2	35.3	35.3	34.9	33.4	31.5	29.5	27.9	24.5	24.5
経度 [° E]	136.9	134.9	133.7	132.0	131.6	130.8	129.7	128.3	124.0	122.0

4. 用いた地震動予測モデル (MF13) に関する留意点

4.1 大地震の震源断層ごく近傍と巨大地震の震源近傍への適用について

Morikawa and Fujiwara (2013) のデータセットは、 $M_w 7.0$ 以上の地震の断層最短距離 20km 以内の記録がない。従って、この範囲の予測は外挿となる。また、断層最短距離 2km 以内の「震源断層ごく近傍」の記録は 5 個にとどまる。

2023 年 2 月にトルコで発生したカフラマンマラシュ地震は、長大な断層において発生し

た Mw7.8 (USGS による) の大地震であったが、断層トレース周辺に強震計の観測網が展開されており、地震後 AFAD (Disaster and Emergency Management Presidency) からデータが公開されている。図 1 に観測された地震動の距離減衰特性と MF13 との比較を示す。ここで、断層最短距離は、鉛直断層を仮定して Reitman et al. (2023) による断層トレース (図 2) からの距離としており、MF13 は地殻内地震の係数を用い、地盤増幅に関する補正は行っていない。周期 0.5 秒以下の短周期成分や周期 5 秒の長周期成分では、断層最短距離 2km 以内の「震源断層ごく近傍」においても MF13 はおおむね観測記録を説明できている一方で、周期 1~3 秒では MF13 は過大評価となっている。

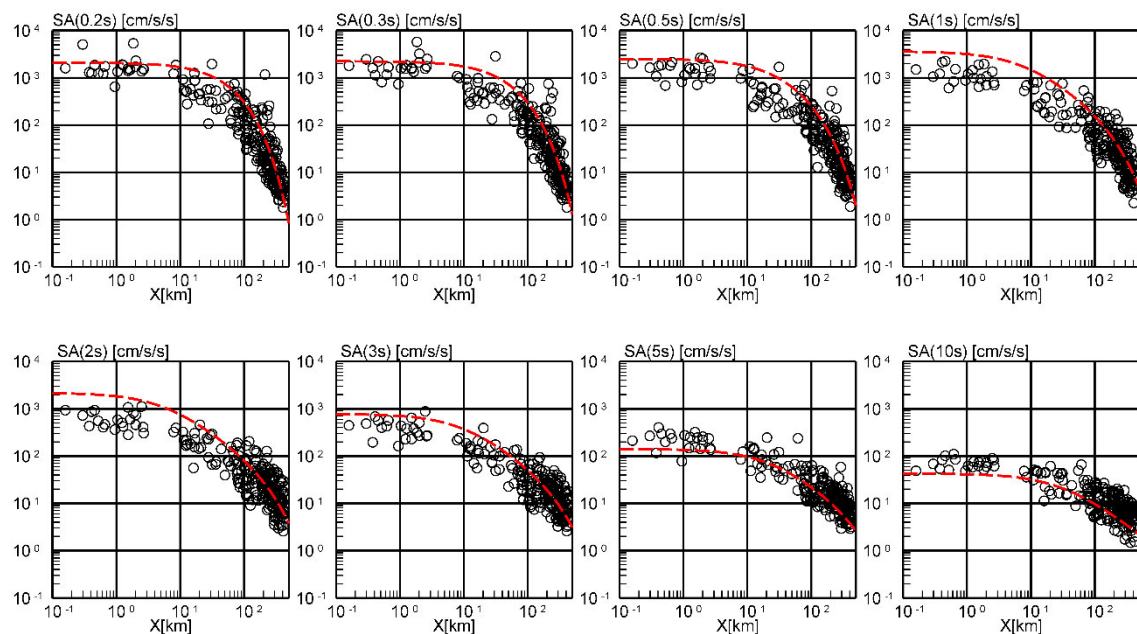


図 1 2023 年 2 月のカフラムンマラシュ (トルコ) の観測記録 (○) と MF13 (赤破線) との比較

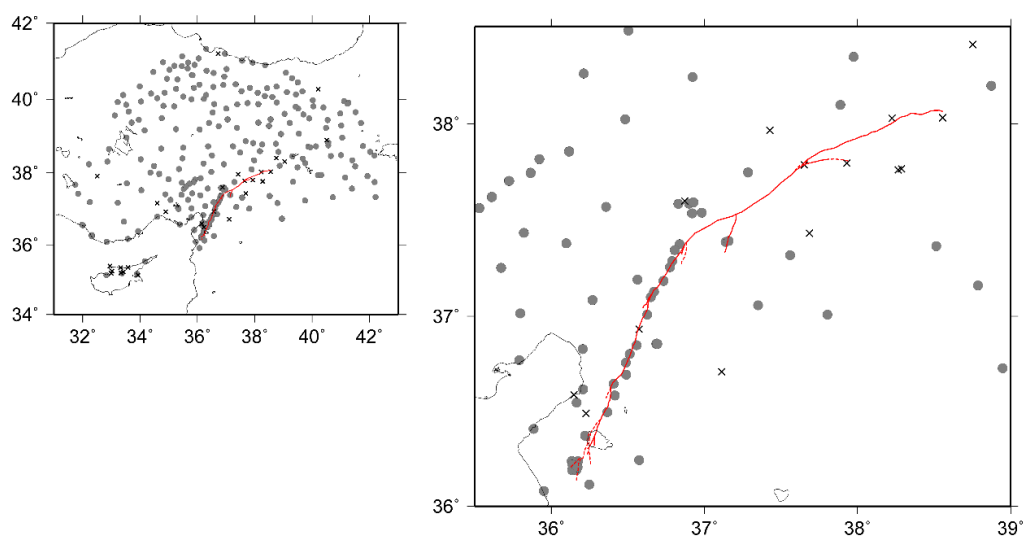


図2 Reitman et al. (2023) の断層トレース (赤線) と観測点 (●記録 OK、×記録 NG)

この要因として、式(1) の係数 $d(T)$ の値が周期 1~3 秒で小さいことで震源断層ごく近傍における振幅の頭打ちが他の周期帯よりも弱くなっていることがある。この $d(T)$ の値について、周期 0.6 秒以上で一定とした場合 (図 3)、カフラマンマラシュ地震の観測記録の説明性は高くなる (図 4)。

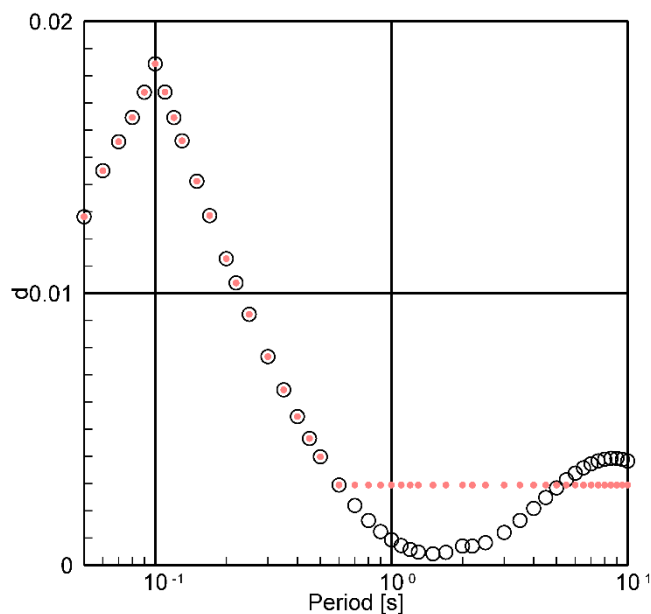


図3 式(1) における係数 $d(T)$ (○) と周期 0.6 秒以上で仮定する一定値 (●)

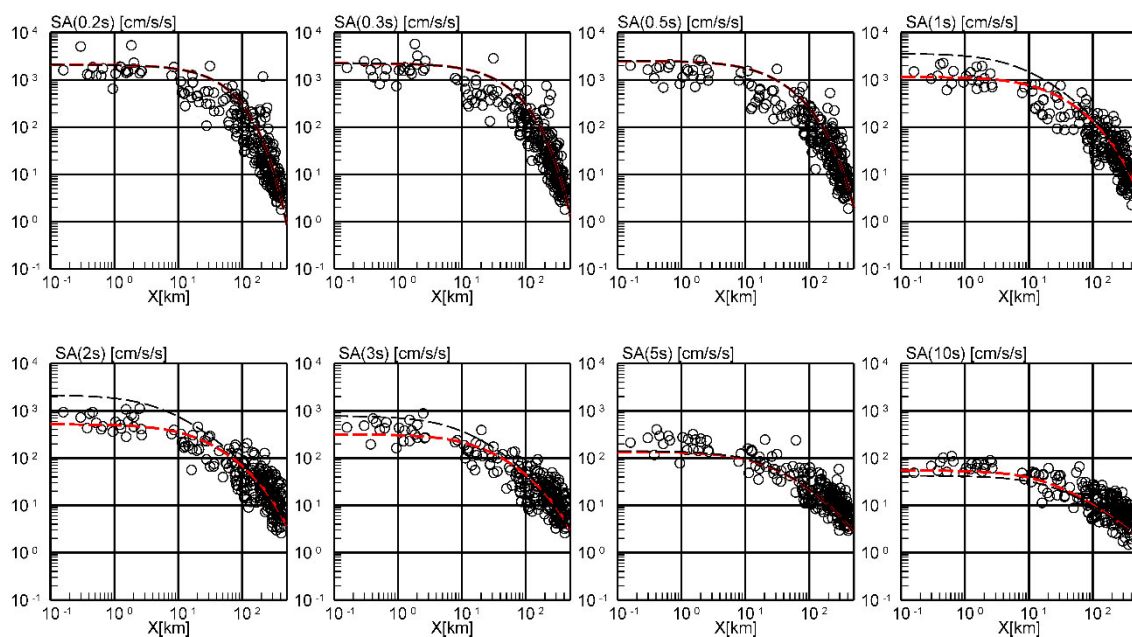


図4 仮定した $d(T)$ による予測値 (赤破線) とカフラマンマラシュ地震の観測記録との比

較（黒破線は MF13）

4.2 えりも岬周辺における短周期成分について

今回作成した応答スペクトルに関する地震動予測地図において、北海道のえりも岬付近で短周期成分（周期 0.1 秒や 0.2 秒）でのハザードが顕著に大きい。日本全国を対象とした Q 値（地震波の減衰）構造の推定結果（例えば、中村・植竹，2002）からは、えりも岬付近の直下に低 Q 値領域の存在が示されており、2003 年十勝沖地震を対象とした検討においても地震動の短周期成分の過大評価を改善するために、小さな伝播経路の Q 値を仮定する必要があることが示されている（森川・他，2007）。えりも岬付近は、やや深発地震（太平洋プレートのプレート内地震）における特異な減衰構造の補正（式(4)）によって短周期地震動の予測値が大きくなることもあって日本全国の中で最も顕著に現れているが、このような局所的に存在する低 Q 領域は短周期地震動の強さに対する影響が大きく、非エルゴード的な（あるいは減衰特性の地域性を考慮した）地震動予測モデルの構築が今後必要とされる。

参考文献

- 藤原広行，河合伸一，青井真，森川信之，先名重樹，工藤暢章，大井昌弘，はお憲生，若松加寿江，石川裕，奥村俊彦，石井透，松島信一，早川譲，遠山信彦，成田章（2009）：全国地震動予測地図作成手法の検討，防災科学技術研究所研究資料，第 336 号，415 pp., <https://doi.org/10.24732/nied.00001950>
- 藤原広行，森川信之，前田宜浩，岩城麻子，先名重樹，河合伸一，東宏樹，はお憲生，井元政二郎，若松加寿江，宮腰淳一，森井雄史，島津奈緒未，高橋真理，赤塚正樹（2023）：東日本大震災を踏まえた地震動ハザード評価の改良（その 2），防災科学技術研究所研究資料，第 489 号，489 pp., <https://doi.org/10.24732/NIED.00003933>
- 地震調査委員会（2009）：全国地震動予測地図技術報告書（2009），https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2009/
- 地震調査委員会（2021）：全国地震動予測地図 2020 年版作成条件・計算結果編，https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/yosokuchizu2020_jk.pdf
- 地震調査委員会強震動評価部会（2022）：応答スペクトルに関する地震動ハザード評価（試作版），https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/sh_response_spectrum/
- Morikawa, N., and H. Fujiwara (2013): A new ground motion prediction equation for Japan applicable up to M9 mega-earthquake, *Journal of Disaster Research*, Vol. 8, pp. 878-888.
- 森川信之・藤原広行（2014）：2011 年東北地方太平洋沖地震の観測記録に基づく地震動予測式と南海トラフ巨大地震への適用，第 14 回日本地震工学シンポジウム論文集.
- 森川信之・藤原広行（2015）：海溝型プレート内地震のための地震動予測式の補正項に関する検討，日本地球惑星科学連合 2015 年大会，SSS25-14.
- 森川信之・藤原広行・河合伸一・青井真・功刀卓・石井透・早川譲・小林京子・大井昌弘・先名重樹・奥村直子（2007）：2003 年十勝沖地震の観測記録を用いた強震動予測手法の検

証, 防災科学技術研究所研究資料, 第 303 号, 149pp.

森川信之・神野達夫・成田章・藤原広行・福島美光 (2006): 東北日本の異常震域に対応するための最大振幅および応答スペクトルの新たな距離減衰式補正係数, 日本地震工学会論文集, Vol. 6, No. 1, pp. 23-41.

中村亮一・植竹富一 (2002): 加速度強震計記録を用いた日本列島下の三次元減衰構造トモグラフィ, 地震 2, 第 53 号, pp. 475-488.

Reitman, N. G., R. W. Briggs, W. D. Barnhart, A. E. Hatem, J. A. Thompson Jobe, C. B. DuRoss, R. D. Gold, J. D. Mejsstrik, C. Collett, R. D. Koehler and S. Akcıs (2023): Rapid Surface Rupture Mapping from Satellite Data: The 2023 Kahramanmaraş, Turkey (Türkiye), Earthquake Sequence, The Seismic Record, Vol. 3, No. 4, pp. 289-298.

先名重樹・藤原広行・前田宜浩・森川信之・岩城麻子・河合伸一・谷田貝淳・佐藤将・鈴木晴彦・稲垣賢亮・松山尚典 (2023): 強震動評価のための浅部・深部統合地盤構造モデルの構築, 防災科学技術研究所研究資料, 第 498 号.

司宏俊・翠川三郎 (1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No. 523, pp. 63-70.

付録 回帰係数 (周期 $T = 0.0$ は最大加速度)

T (s)	a	b_1	b_2	b_3	c_1	c_2	c_3
0.0	-0.0321	-0.005315	-0.005042	-0.005605	7.0830	7.1181	7.5035
0.1	-0.0327	-0.006116	-0.006061	-0.006686	7.5396	7.6214	8.0219
0.2	-0.0321	-0.005151	-0.005027	-0.005476	7.4307	7.4788	7.8719
0.3	-0.0321	-0.004543	-0.004095	-0.004621	7.2924	7.2797	7.6656
0.5	-0.0321	-0.003767	-0.002832	-0.003783	7.0604	6.9439	7.3615
1.0	-0.0327	-0.002138	-0.001322	-0.002331	6.6284	6.4748	6.8605
2.0	-0.0359	-0.001604	-0.000673	-0.001576	6.4982	6.2617	6.6087
3.0	-0.0382	-0.001345	-0.000505	-0.001105	6.4414	6.1858	6.4858
5.0	-0.0393	-0.000739	-0.000564	-0.001155	6.1466	5.8960	6.1817

T (s)	d	p_d	D_{lmin}	p_s	γ_{NE}	γ_{SW}	PH
0.0	0.011641	-0.055358	15.0	-0.52321	0.0000760	0.0000633	-0.2426
0.1	0.018438	-0.084855	15.0	-0.28442	0.0000839	0.0000659	-0.2470
0.2	0.011273	-0.043392	15.0	-0.63366	0.0000802	0.0000654	-0.2528
0.3	0.007670	-0.019984	15.0	-0.79300	0.0000779	0.0000651	-0.2553
0.5	0.003986	0.030246	15.0	-0.89113	0.0000708	0.0000647	-0.2564
1.0	0.000936	0.128830	15.0	-0.77865	0.0000532	0.0000451	-0.2527
2.0	0.000703	0.253940	33.7	-0.54358	0.0000357	0.0000186	-0.2407
3.0	0.001202	0.323120	57.8	-0.41392	0.0000255	0.0000031	-0.2288
5.0	0.002841	0.419680	113.8	-0.29466	0.0000152	-0.0000124	-0.2077