すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）に用いる隆起量データとパラメータについて

1. 隆起量データの確率分布について
2. βの事前分布について

2025年2月5日

文科省事務局

1. 隆起量データの確率分布について

室津港の隆起量データまとめ

★宝永地震

○久保野家文書
①室津港の隆起量→1.4～1.5m±0.3m (0.8掛け)
②室津港の隆起量→1.7～1.9m±0.5m　※竿の違い

○万変記
③室津港の隆起量→ 2.1～2.4m

①：②：③＝１：１：２を基本とする。

★安政地震

○手鏡
①室津港の隆起量→1.0m±0.3m (0.8掛け)
②室津港の隆起量→1.2m±0.5m

○土佐國
③室津港の隆起量→ 0.9～1.2m

②：③＝１：１を基本とする。

★昭和南海地震

○港の測深データ
①室津港の隆起量→100.9cm±5.1cm～106.3cm±5.0cm
②室津港の隆起量→100.1cm±5.1cm～105.6cm±5.0cm
③室津港の隆起量→103.6cm±5.7cm
④室津港の隆起量→102.9cm±5.7cm

○水準測量データ
①室津港の隆起量→92.4cm±3.7cm～105.3cm±3.8cm
②室津港の隆起量→98.3cm±3.7cm～103.7cm±3.8cm
③室津港の隆起量→95.2cm±4.6cm～102.6cm±4.6cm
④室津港の隆起量→101.0cm±4.6cm

昭和は今回、③④のみ採用

※①②と③④の違いは室津港の位置補正で考え方が重複
①②を採用した分布は別添

データの不確実性と誤差

データの要素

測定値：u_o

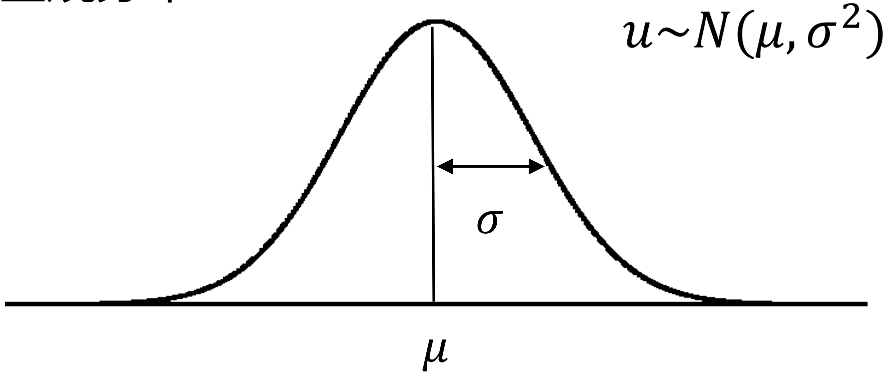
測定値に不確実性：$u_o = u_1 \sim u_2$

測定誤差：$\pm e$

※基本的に測定誤差なしはあり得ない
但し、史料によっては誤差情報が欠落している
万変記（宝永地震）
土佐國（安政地震）など

測定値に不確実性がない時のデータの確率分布（$u = u_o \pm e$）

正規分布



$u \sim N(\mu, \sigma^2)$

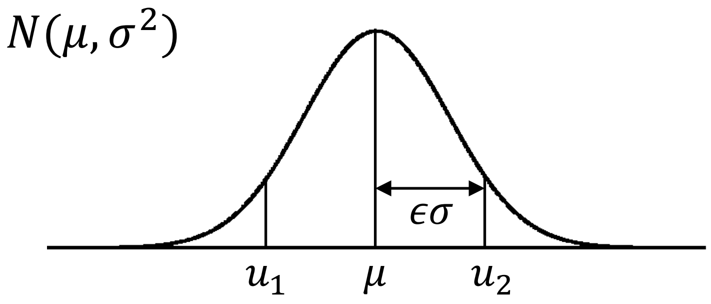
期待値　$\mu = u_o$

分散　$\sigma^2 = e^2$

測定値に不確実性がある時、期待値が確率分布する

測定値の不確実性の表現（$u_o = u_1 \sim u_2$）

(1) 不確実性を正規分布で仮定

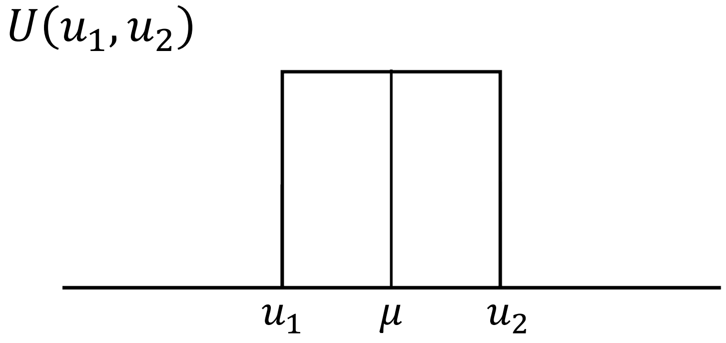


期待値 $\mu = \dfrac{u_1 + u_2}{2}$

分散 $\sigma^2 = \left(\dfrac{u_2 - u_1}{2\epsilon}\right)^2$

真値が範囲の中央値に近いと期待できる場合。
分散に自由度があるので指定する必要があり、範囲の半径でスケールする（ϵシグマ範囲）。
ϵ 大 → 分散小、中央に集中。
ϵ 小 → 分散大、はみ出し大。

(2) 不確実性を一様分布で仮定



期待値 $\mu = \dfrac{u_1 + u_2}{2}$

分散 $\sigma^2 = \dfrac{(u_2 - u_1)^2}{12}$

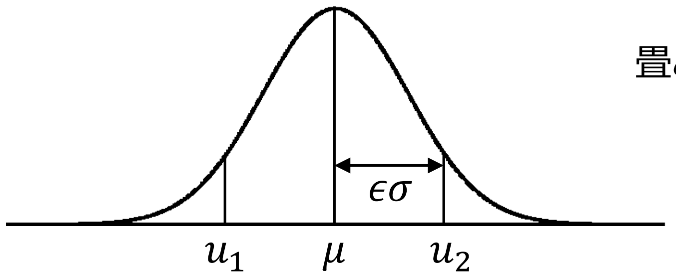
真値が範囲のどこか全くわからない場合。
分散に自由度がなく、分布は一意。
一様分布の分散は、上述の正規分布の設定で $\epsilon = \sqrt{3}$ 相当。範囲の外にはみ出すことはない。

データの不確実性を表現する分布はこれ以外にも様々考えられるが、今回はこの２種類を考慮。

測定値に不確実性がある時のデータの確率分布（$u = u_1 \sim u_2 \pm e$）

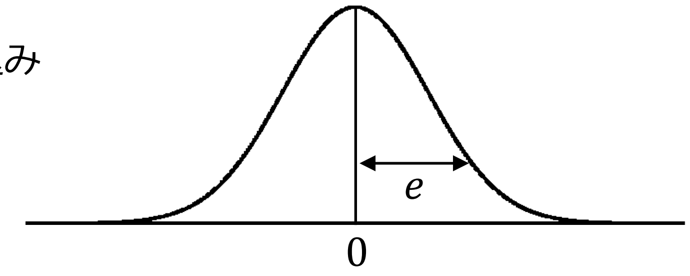
(1) 不確実性を正規分布で仮定

$N(\mu, \sigma^2)$



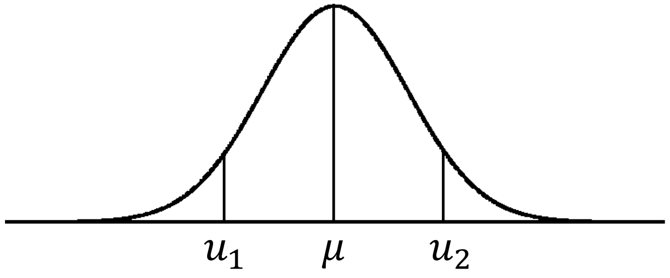
畳み込み
+

$N(0, e^2)$



=

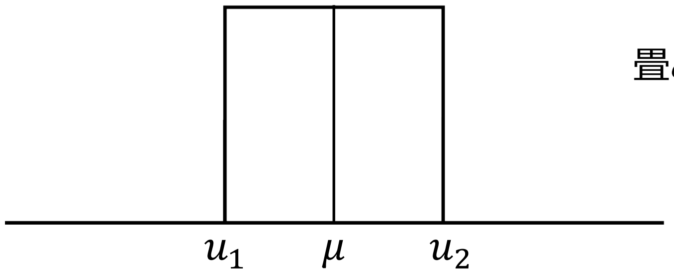
$N(\mu, \sigma^2 + e^2)$



$$\mu = \frac{u_1 + u_2}{2}, \quad \sigma^2 = \left(\frac{u_2 - u_1}{2\epsilon}\right)^2$$

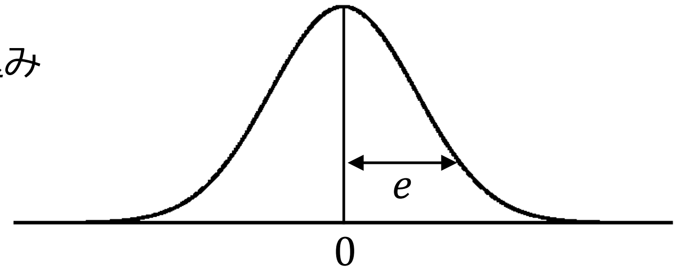
(2) 不確実性を一様分布で仮定

$U(u_1, u_2)$



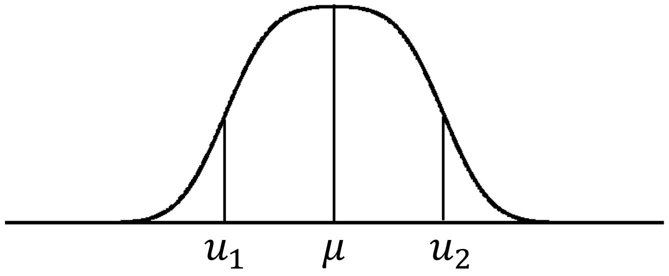
畳み込み
+

$N(0, e^2)$



=

軟化一様分布
Mollified Uniform distribution
$MU(u_1, u_2, e^2)$



データの確率分布の表現まとめ

不確実性なし：$\boldsymbol{u_o} \pm \boldsymbol{e}$

不確実性あり： $\boldsymbol{u_1}$～$\boldsymbol{u_2}$ $\pm\boldsymbol{e}$

正規分布

一様分布

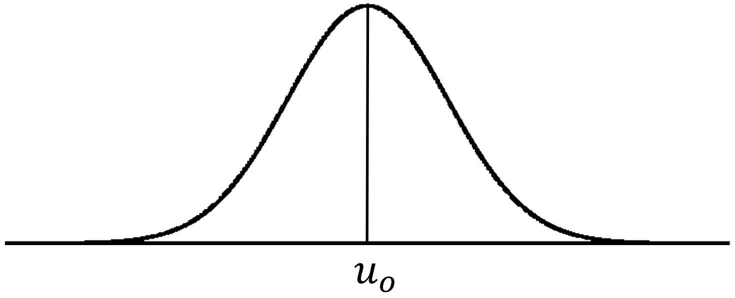
$$\sigma^2 = \left(\frac{u_2 - u_1}{2\epsilon}\right)^2$$

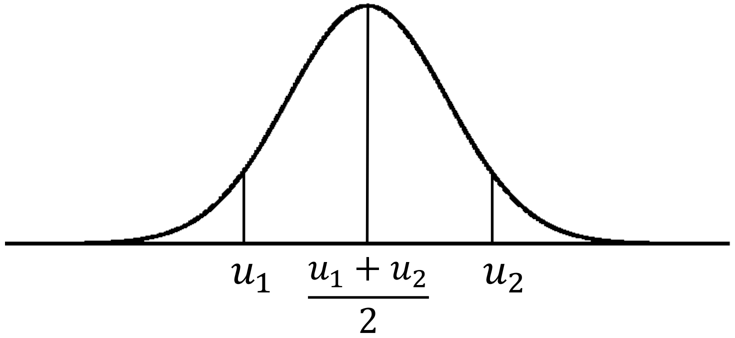
分散を仮定

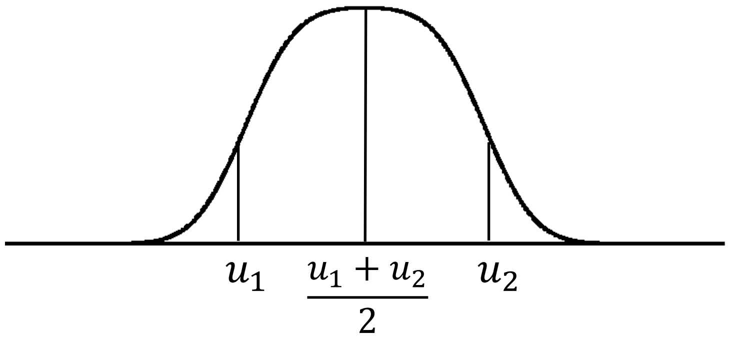
$N(u_o, e^2)$

$N\left(\frac{u_1 + u_2}{2}, \sigma^2 + e^2\right)$

$MU(u_1, u_2, e^2)$



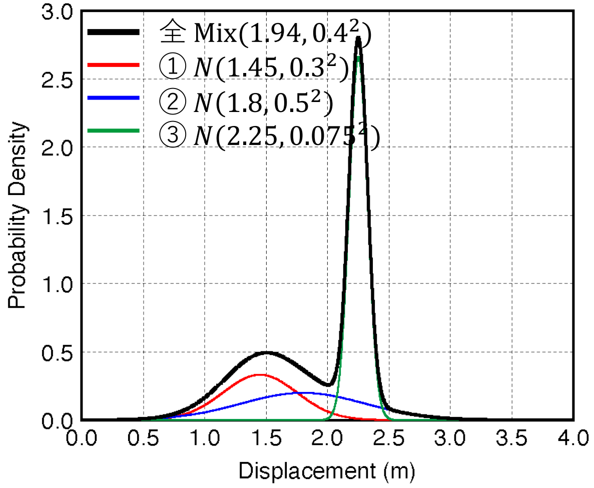




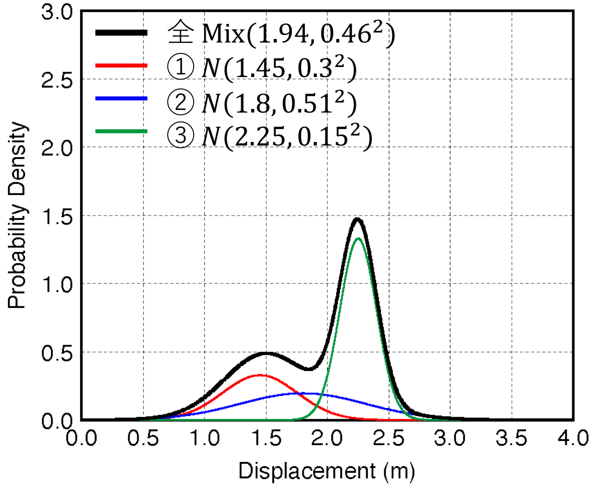
宝永地震の隆起量　①久保野家(×0.8)：②久保野家：③万変記＝１：１：２

不確実性を正規分布

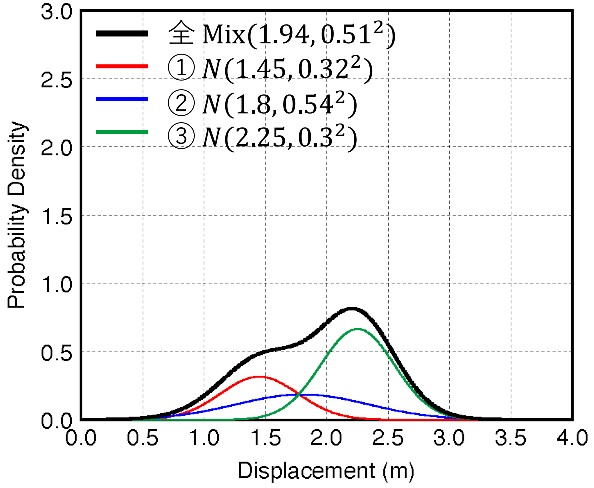
$\epsilon = 2.0$



$\epsilon = 1.0$



$\epsilon = 0.5$

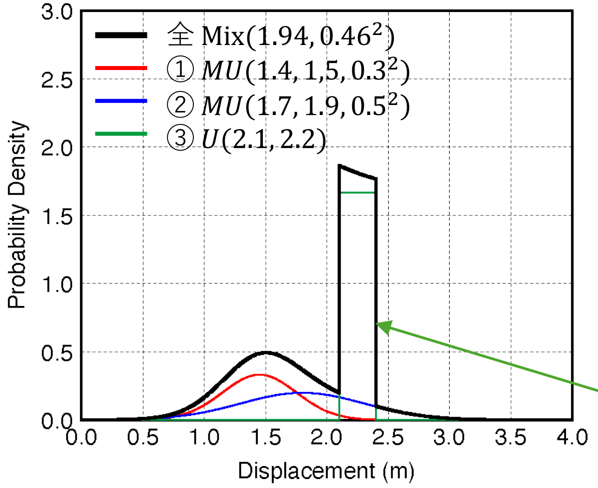


- ϵ を小さく設定し、不確実性の分散を大きくすることで、誤差情報のない万変記の分布を久保野家の分布に寄せることができる。
- $\epsilon = 0.5$でもまだ十分ではない。
- このまま恣意的にϵを設定してよいか？

提案

万変記に久保野家と同じ誤差を仮定

不確実性を一様分布



万変記に誤差情報がない
ため、一様分布そのまま

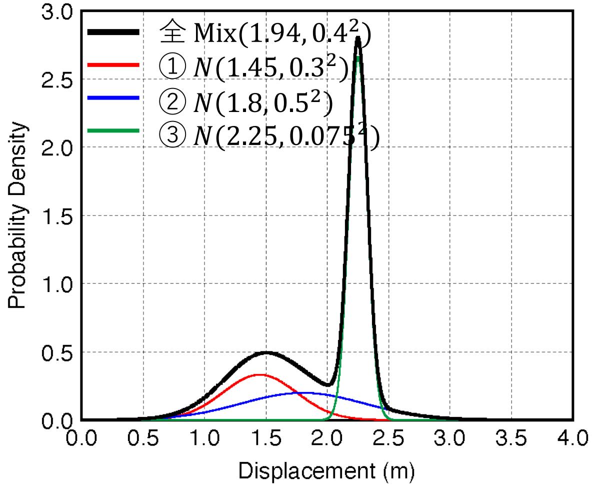
① 1.4～1.5m±0.3m (0.8掛け)
② 1.7～1.9m±0.5m
③ 1.7～1.9m±0.3m (0.8掛け)
④ 2.1～2.4m±0.5m

①：②：③：④＝1：1：1：1

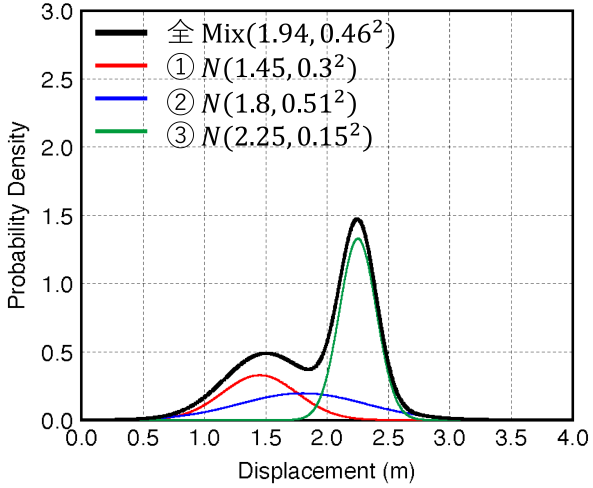
宝永地震の隆起量 ①久保野家（×0.8）：②久保野家：③万変記＝１：１：２

不確実性を正規分布

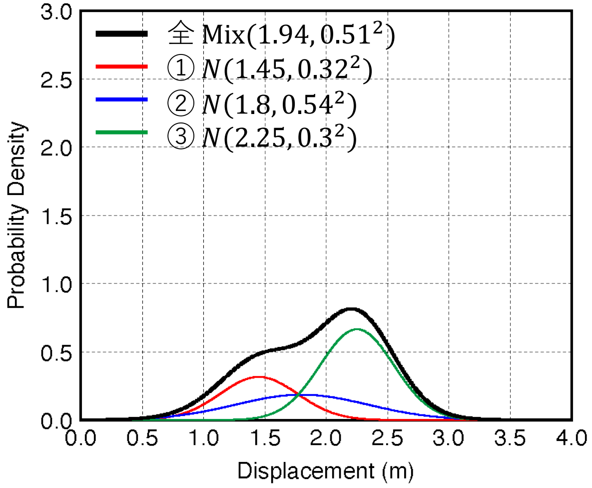
$\epsilon = 2.0$



$\epsilon = 1.0$

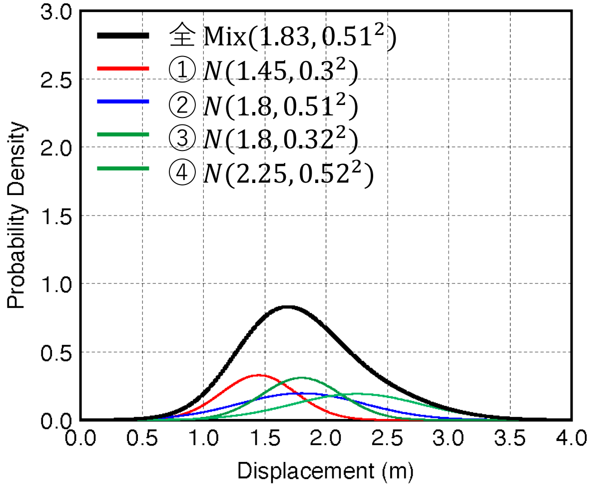


$\epsilon = 0.5$

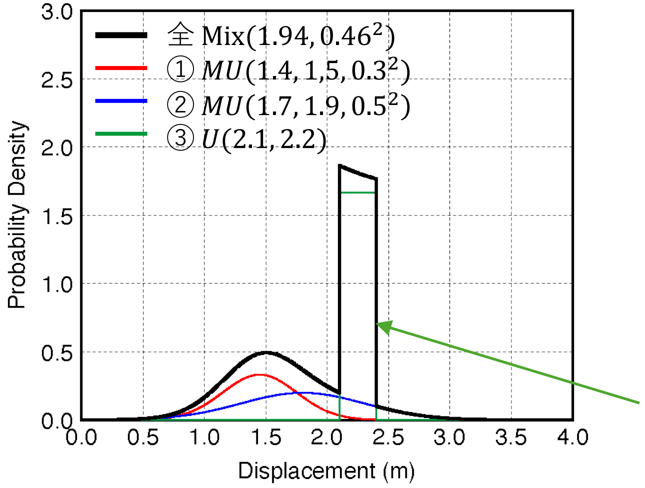


万変記に久保野家と同じ
測定誤差を仮定(1:1:1:1)

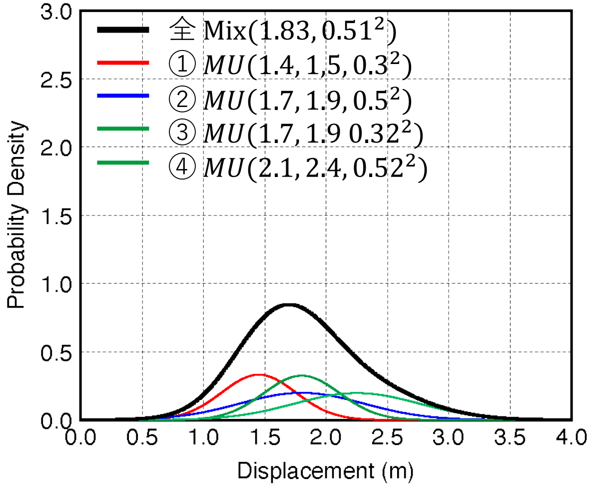
$\epsilon = 1.0$



不確実性を一様分布



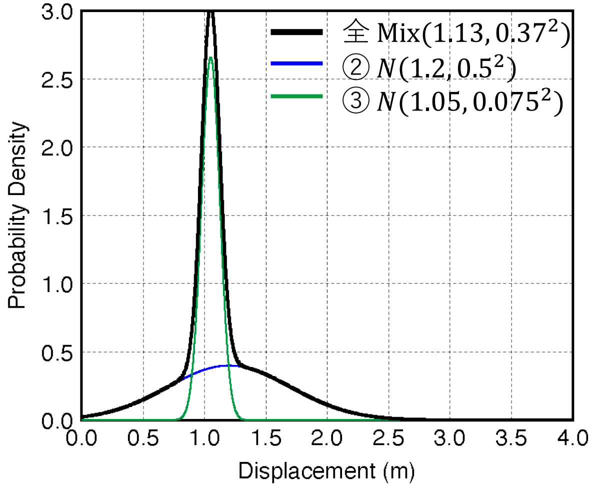
万変記に誤差情報がない
ため、一様分布そのまま



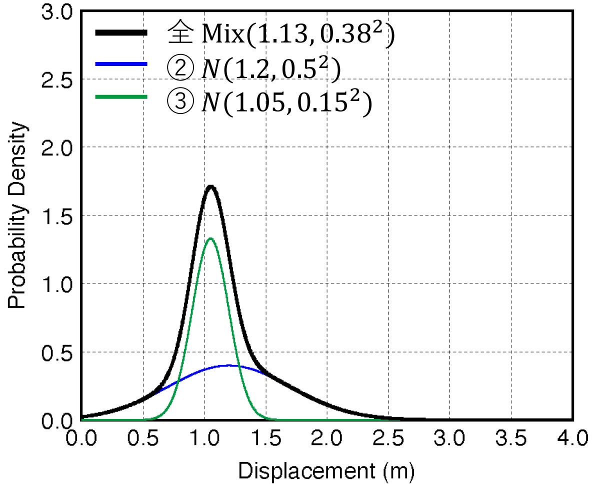
安政地震の隆起量　②手鏡：③土佐國＝１：１

不確実性を正規分布

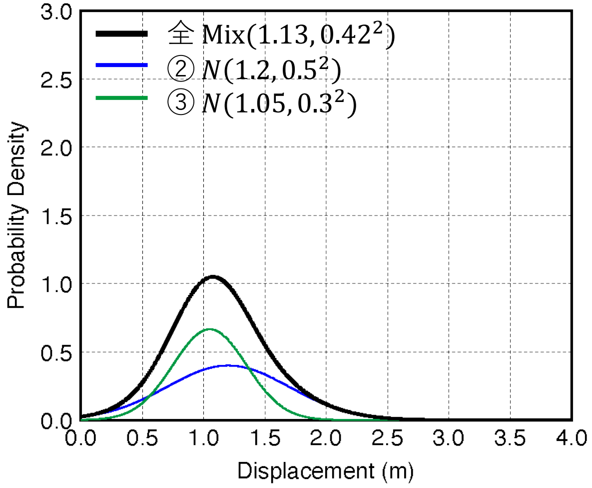
$\epsilon = 2.0$



$\epsilon = 1.0$

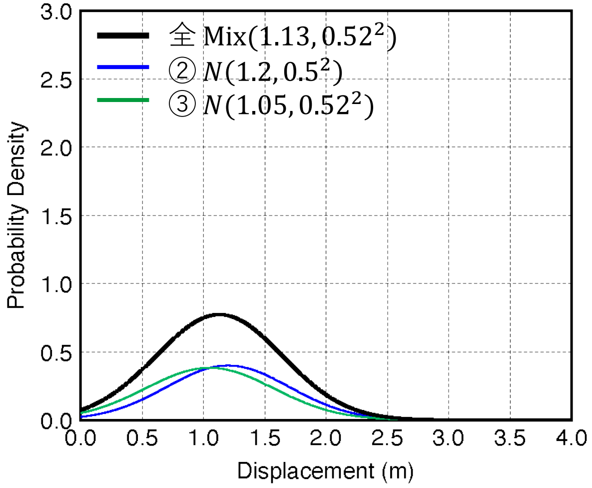


$\epsilon = 0.5$

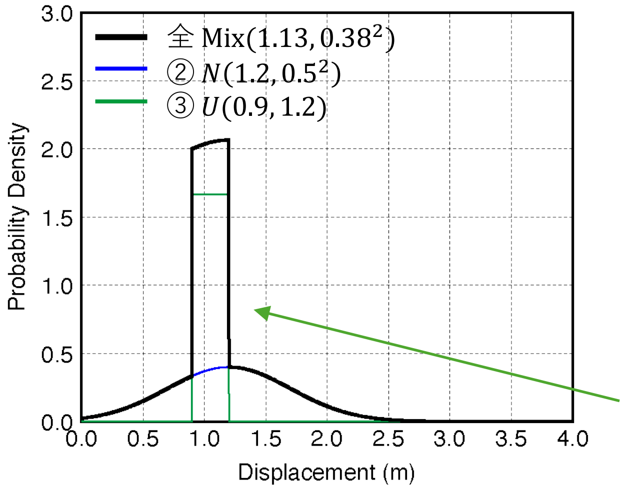


土佐國に手鏡と同じ測定誤差を仮定(1:1)

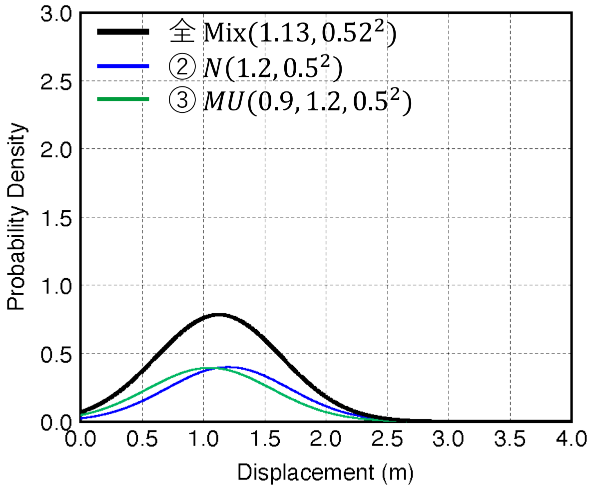
$\epsilon = 1.0$



不確実性を一様分布



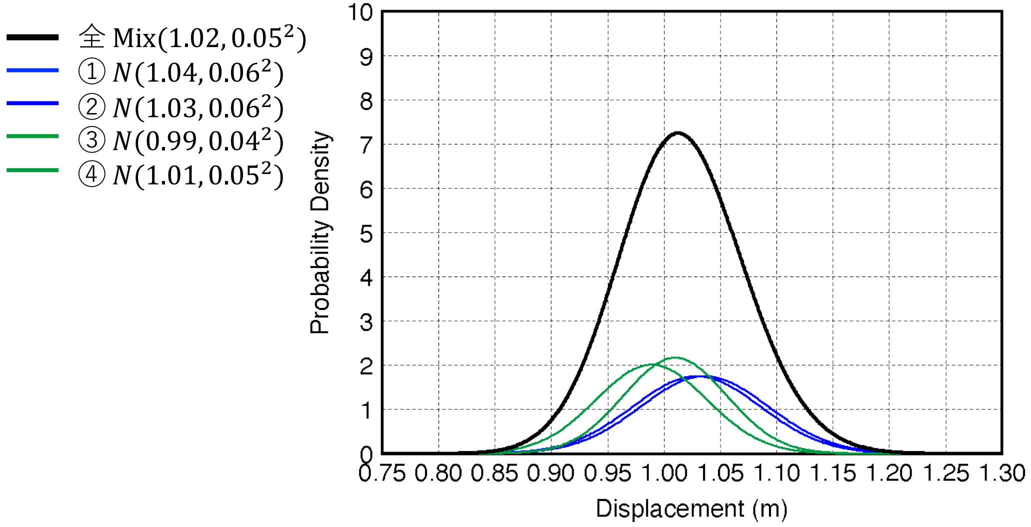
万編記に誤差情報がない
ため、一様分布そのまま



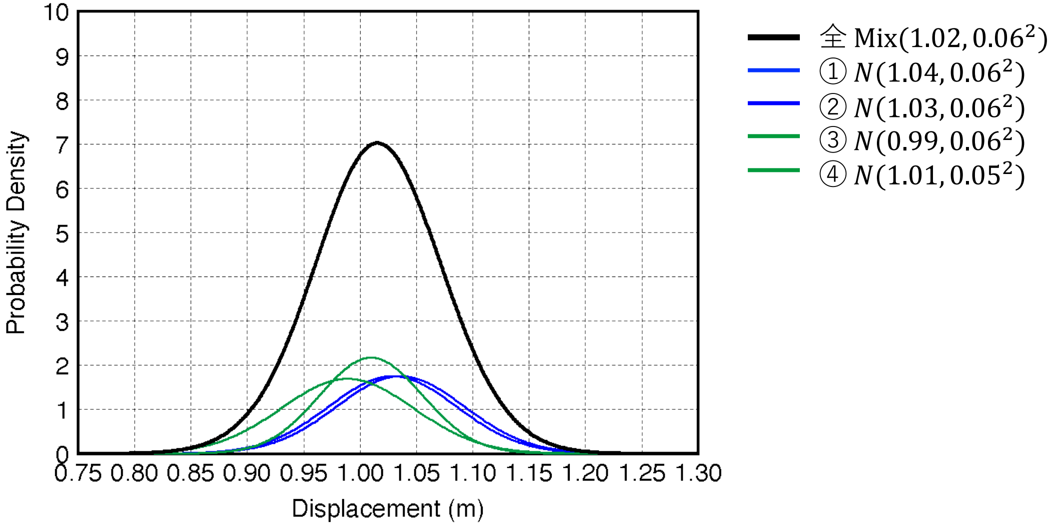
昭和南海地震の隆起量

不確実性を正規分布

$\epsilon = 2.0$

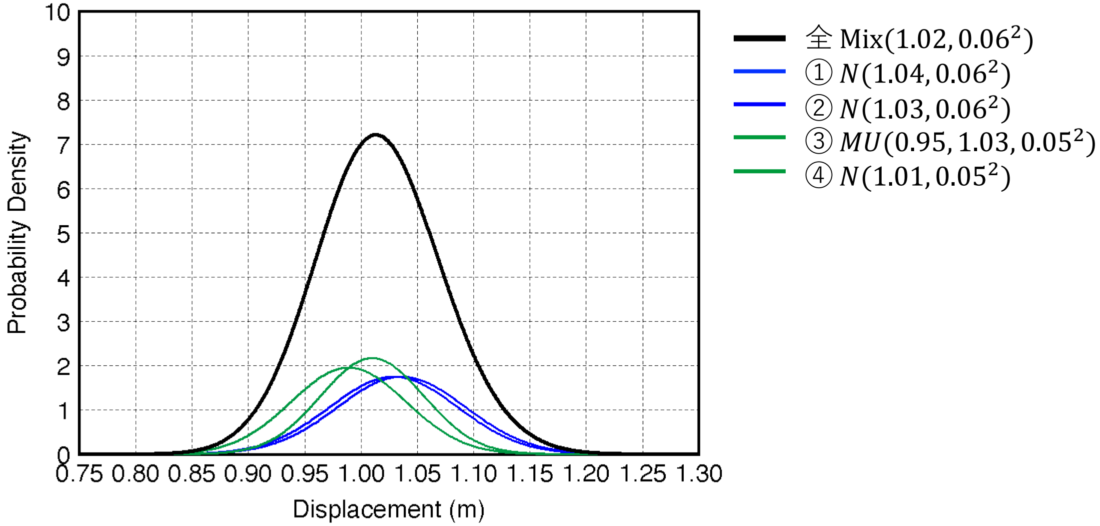


$\epsilon = 1.0$



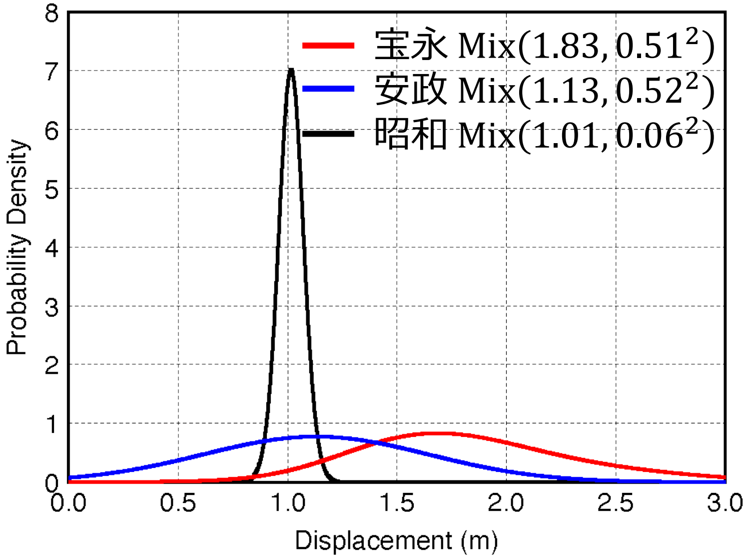
それほど変わらない

不確実性を一様分布

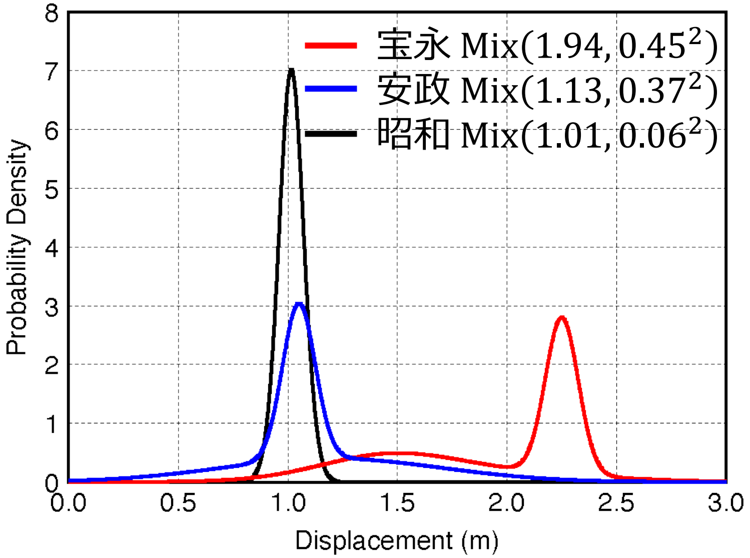


確率試算に用いるデータ確率分布

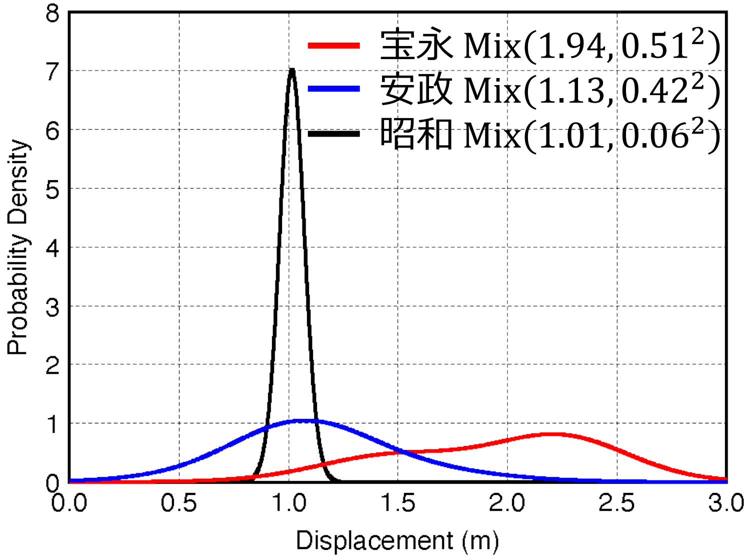
提案分布（誤差を仮定）



2シグマ（$\epsilon = 2$）



0.5シグマ（$\epsilon = 0.5$）



・不確実性は正規分布（$\epsilon = 1$）
・万変記に久保野家と同じ誤差
・土佐國に手鏡と同じ誤差

・不確実性は正規分布（$\epsilon = 2$）

・不確実性は正規分布（$\epsilon = 0.5$）

提案分布、極端な分布（２シグマ、0.5シグマ）について確率値を試算【参考資料5-2】

隆起量データの確率分布の確率値への影響
提案分布の妥当性について

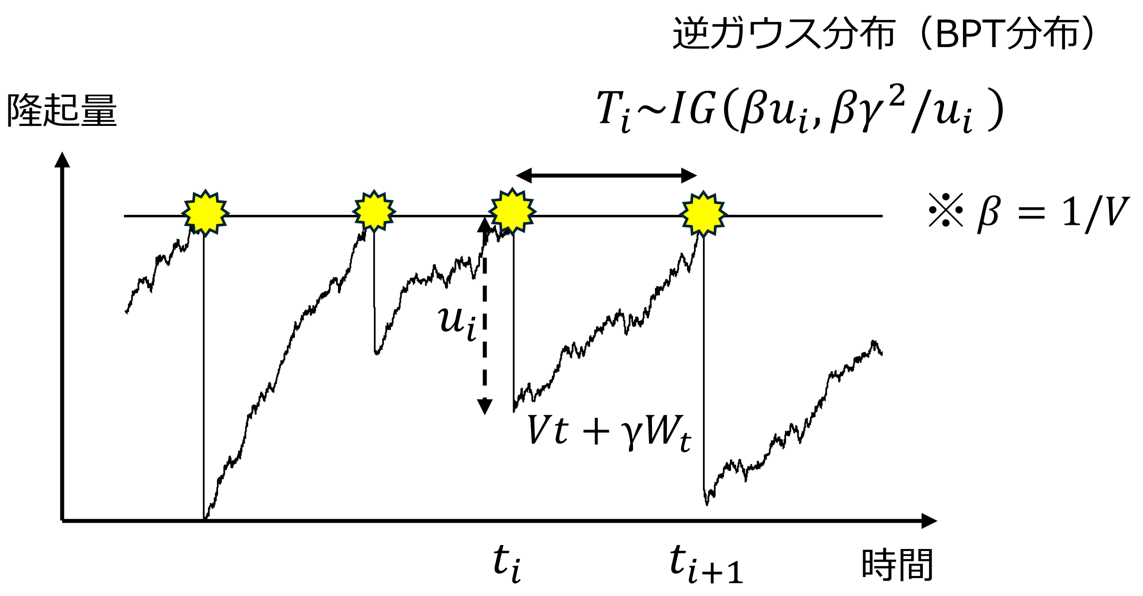
2. βの事前分布について

βの事前分布についての議論（長手Ⅱ-6）

- βはSSD-BPTモデルにおいて隆起速度Vの逆数。
- 現行の方法では、宝永・安政・昭和のデータから最尤推定で求めた $\hat{\beta}_{MLE}$~0.8 hyr/m の周りで事前分布を設計。
- 隆起速度 V~1.25 m/hyr = 12.5 mm/yr に相当。
- このβの事前分布として、「地殻変動で観測されている沈降速度（~8 mm/yr）から事前分布を設計するべきではないか」という意見があった。
- また、室戸岬では永年隆起に伴う海岸段丘の形成が指摘されており(吉川ほか, 1964; 前杢, 2001等）、「永年隆起（~2 mm/yr）を考慮すべきではないか」という議論があった。

- **βの事前分布を観測沈降速度から設計すべきか？**
- **永年隆起速度を考慮すべきか？**

すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）



現行の β の事前分布設定 【長手Ⅱ2(2)】

$\hat{\beta}_{MLE} = 0.7982$ [hyr/m] ➡ $\beta \sim N(0.8, 0.05^2)$

宝永地震・安政地震
を用いた最尤推定値