

# 気圧変動で地震を診る

長尾 大道 データ同化研究開発センター 特任准教授

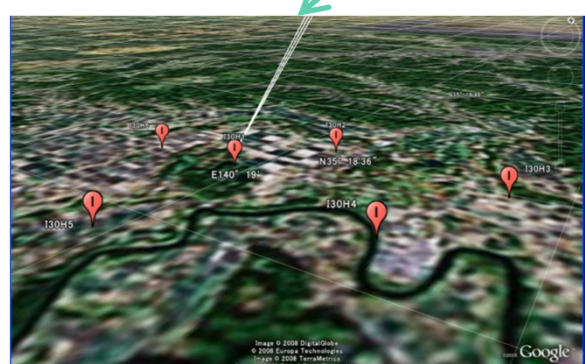
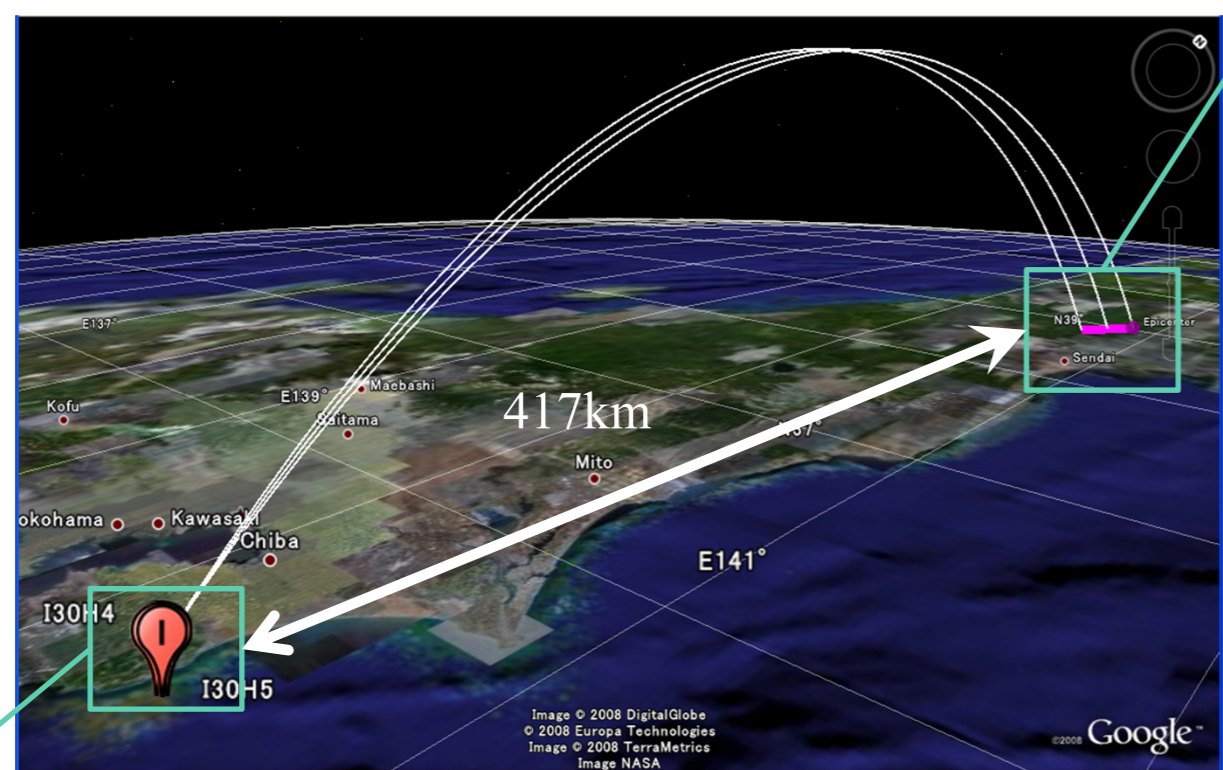
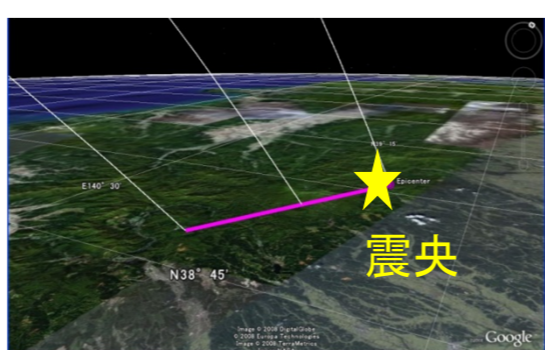
本研究の概要: 地震を知るために最も重要な地球観測データが地震波データであることは、今も昔も変わらないが、最近のセンサー技術の大幅な発達により、地震波以外の様々な観測データにも地震の情報が含まれていることが明らかになってきた。本研究では、数値シミュレーションと観測の融合により、数パスカル(大気圧の10万分の1)程度の極めて小さな気圧変動「微気圧変動」に含まれる地震の情報を抽出するための手法開発を実施している。本発表では、2008年に起こった岩手・宮城内陸地震を例に、本研究の手法を適用した結果を示す。大気中の音波の伝搬速度は津波よりもずっと速いため、将来的には津波の予報システムとして微気圧観測を活用することも検討され始めている。

## ➤ 2008年岩手・宮城内陸地震による微気圧変動

2008年6月14日午前8時43分45秒、岩手県と宮城県の県境付近を震源とする「岩手・宮城内陸地震」(マグニチュード7.2)が発生した。震源の深さが約6kmと浅かったため、地滑りによって非常に大きな被害が出た。長さ約30kmの断層から大気中に放出された音波が、震央から約417km離れた房総半島の夷隅微気圧観測点において捉えられた。

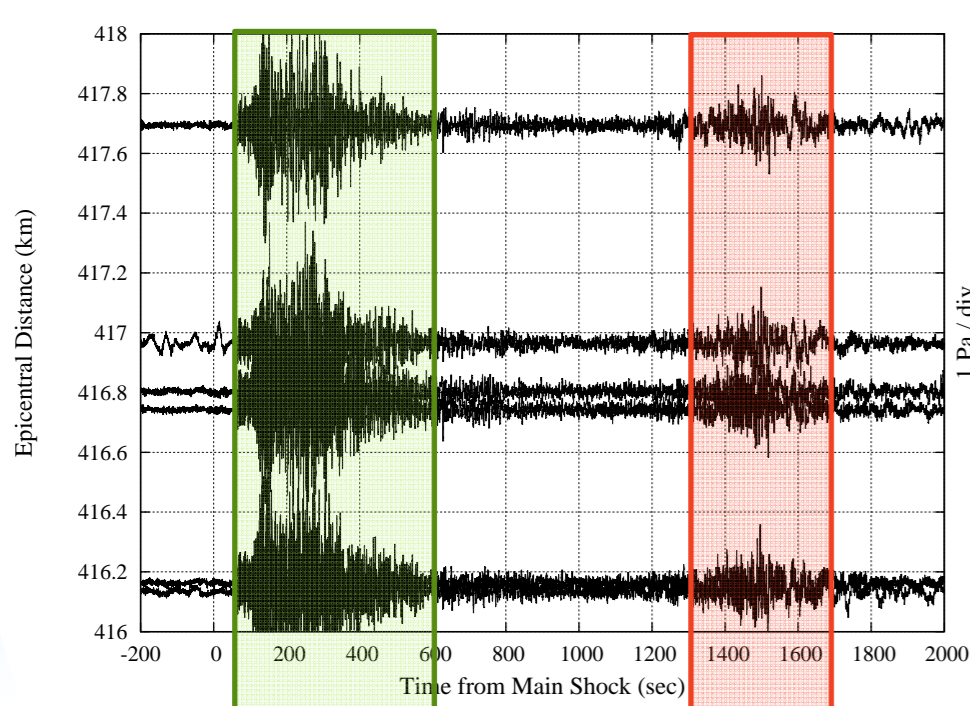
### ◆ 地震断層と微気圧観測点の位置関係

**地震断層**  
典型的な内陸型逆断層である。断層の長さは約30kmで、ほぼ北端の震央から2km/sec以上の速度で南南西方向に破壊が伝搬していったと推定されている。



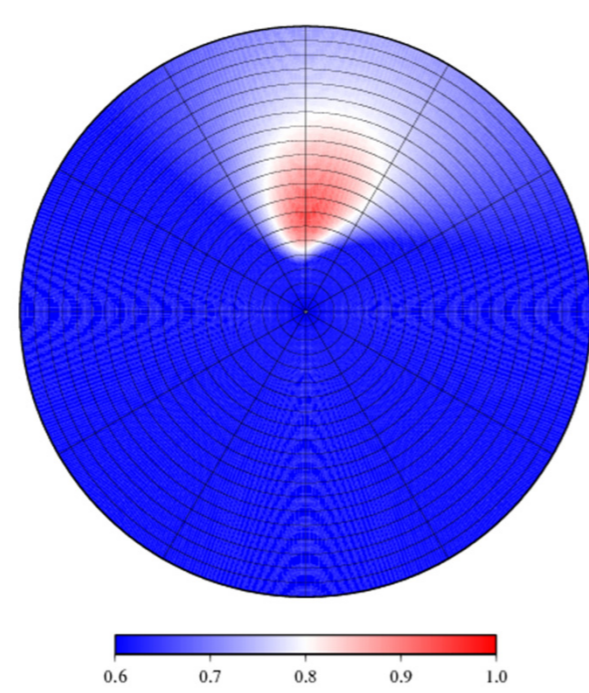
**夷隅微気圧観測点**  
千葉県いすみ市に設置されている、包括的核実験禁止条約機構(CTBTO)によって管理・運営されている日本唯一の微気圧観測点。6つの微気圧センサーで構成されるアレイにより、音源の方向や発震時刻を推定することができる。

### ◆ 観測波形および初期解析結果

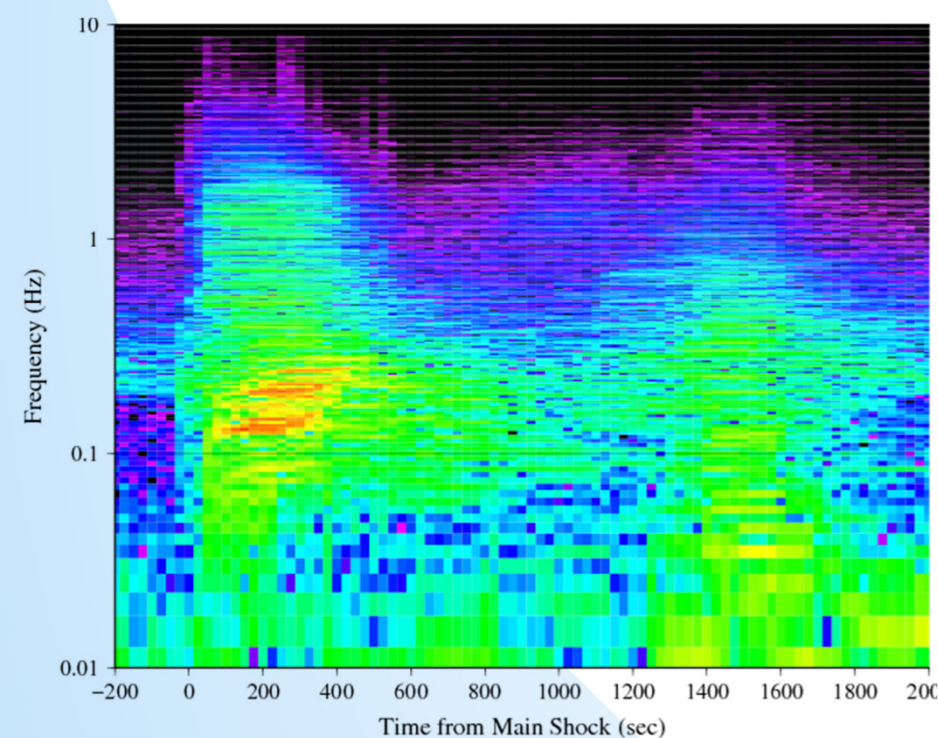


地震動と一緒に到来する表面波(レイリー波)

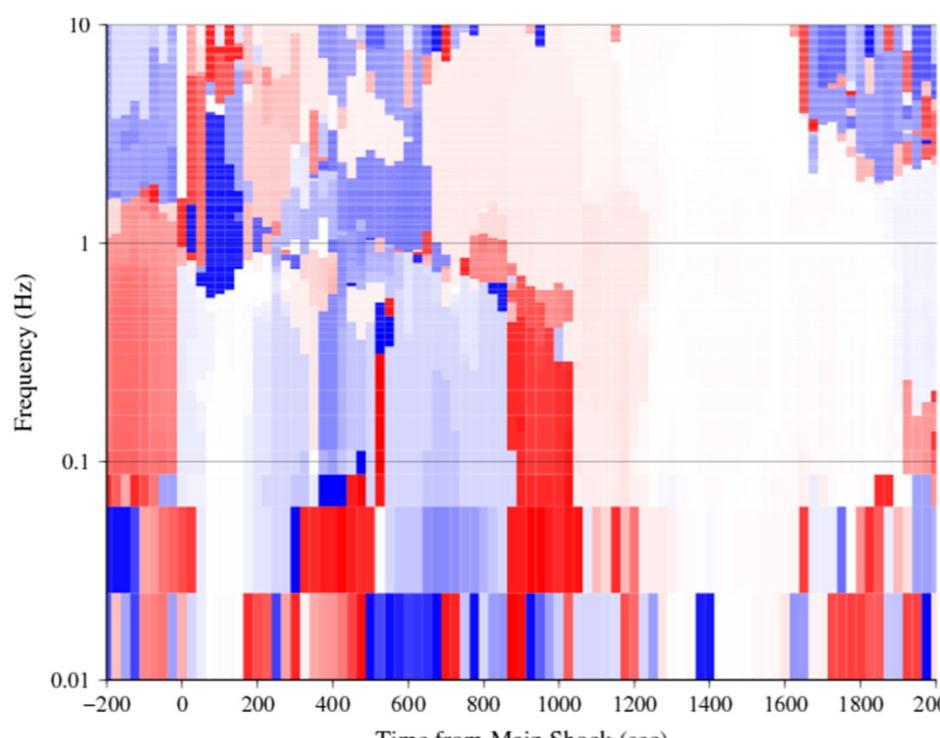
断層域から大気中を伝搬して到来する地震音波



センブリンス解析の結果。地震音波の音源が、断層のある北方向から、約350m/secの伝搬速度で到来したことを示している。



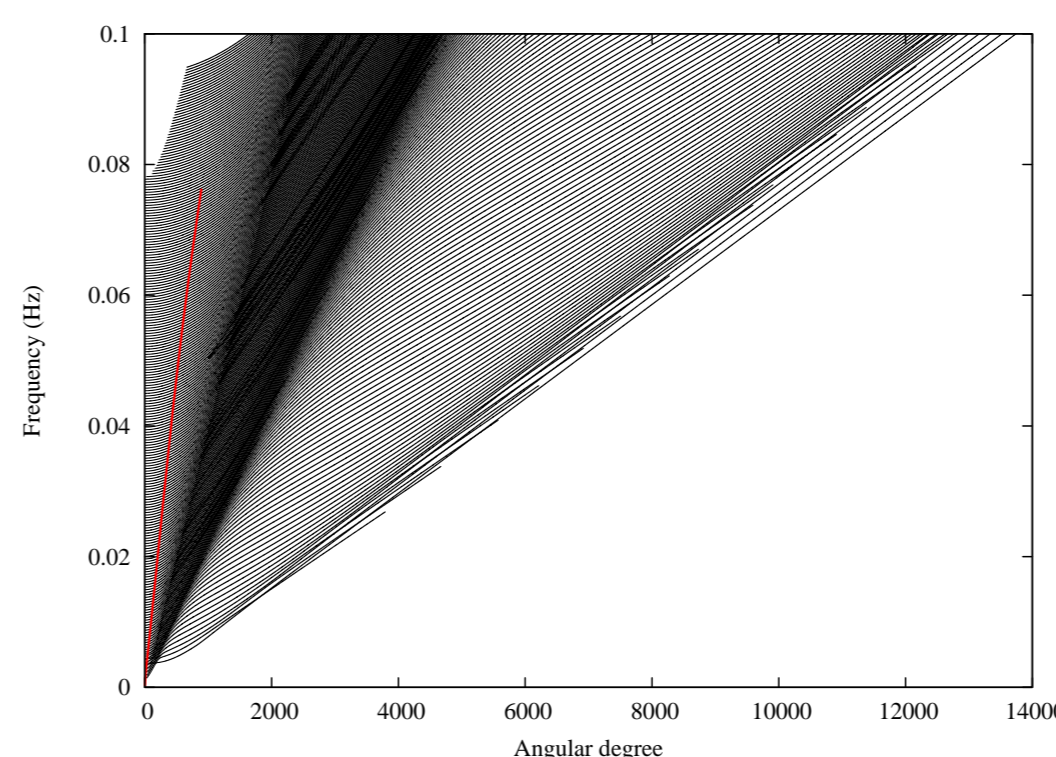
微気圧変動のパワースペクトルの時間変動。レイリー波と地震音波の到来時に、スペクトル強度が増大していることが分かる。



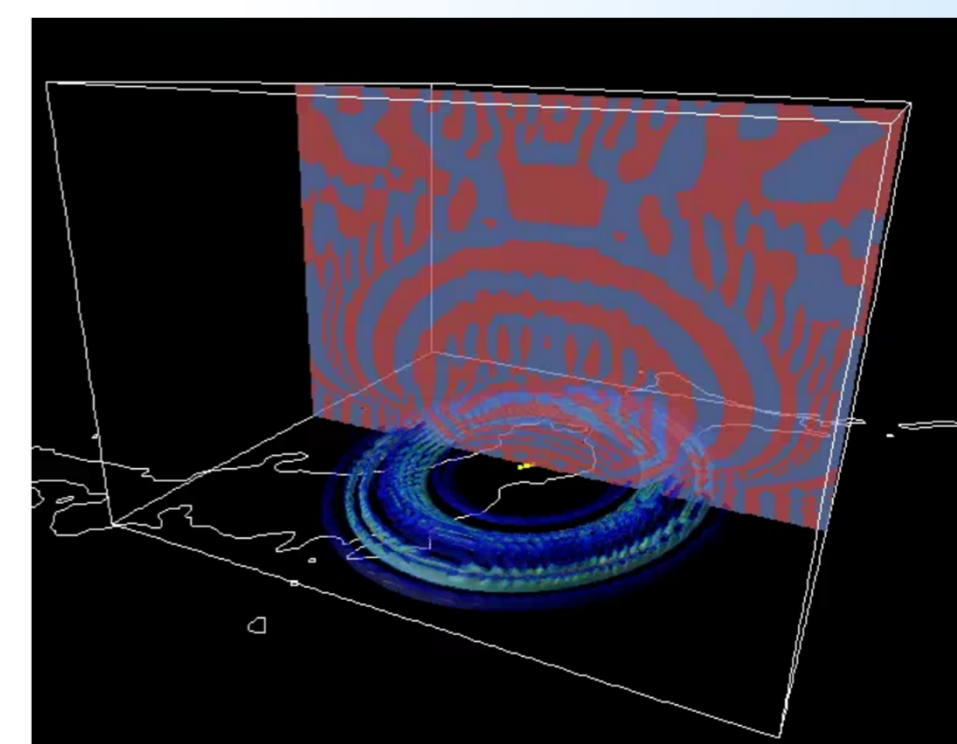
センブリンス解析によって得られた音波到来方向の時間一周波数変動。白くなっている領域は、音波が断層方向から到来していることを示す。

## ➤ 数値シミュレーションによる地震音波の再現実験

観測された地震音波を物理的に理解するためには、数値シミュレーションによって再現する必要がある。本研究では、固体地球と大気を結合した1次元モデルのノーマルモードを求め、断層モデル沿いに配置した複数の震源解に対する音波波形解を重ね合わせることで、理論波形を算出する(Kobayashi [2007])。



1次元の固体地球-大気結合系における分散関係。約135万個のノーマルモードの集合となっている。赤線はレイリー波の分散関係を表す。



数値シミュレーションの可視化。震源を中心に地震音波が伝搬する様子を、緯度・経度方向10度、高度方向1000kmの領域で再現したもの。

## ➤ シミュレーションと観測の融合による地震パラメータの推定

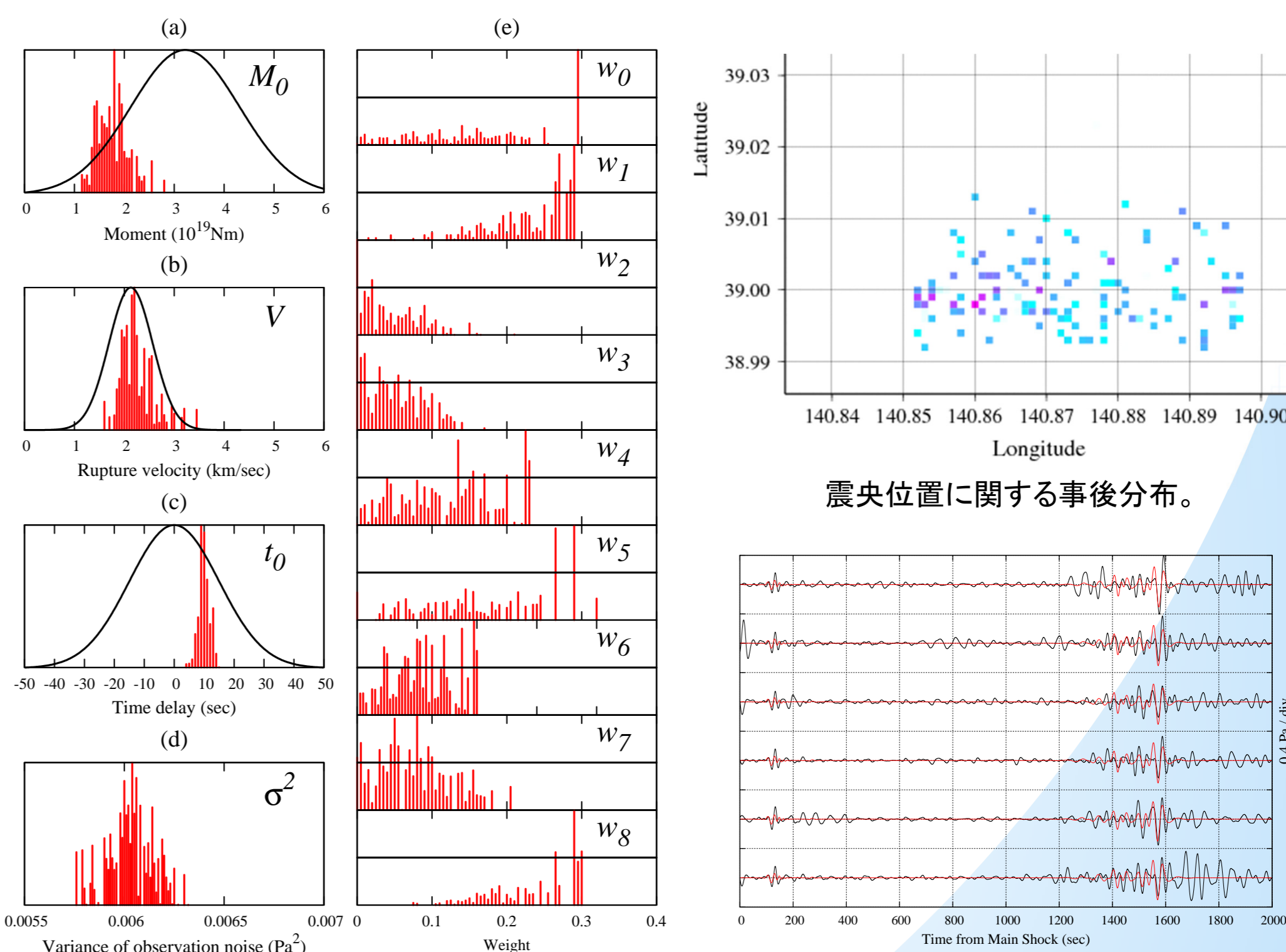
数値シミュレーションによって得られた理論波形と観測波形を比較することにより、地震に関するモデルパラメータを推定する。推定すべきパラメータは、以下のようにまとめられる。

$$\theta = (C \ M_0 \ w_{1:N} \ V \ t_0 \ \sigma^2)$$

ただし、 $C$ は震央位置、 $M_0$ は地震モーメント、 $w_i (i = 1, \dots, N)$ は $N$ 個の震源解の貢献度(重み)、 $V$ は断層破壊速度、 $t_0$ は上層大気中を吹く風の影響度を表すパラメータである。これらのパラメータについて設定した事前分布  $p(\theta)$  から $10^7$ 個の粒子(実現値)をサンプリングし、それぞれの粒子に対応する理論波形を観測波形と比較することにより、尤度  $p(y_{1:T}|\theta)$  を計算する。ベイズの定理を用いて事後分布

$$p(\theta | y_{1:T}) = \frac{p(y_{1:T} | \theta) p(\theta)}{\int p(y_{1:T} | \theta) p(\theta) d\theta}$$

を計算し、これを最大にする解(MAP解)を最適なモデルパラメータとして選択する。



震央位置に関する事後分布。

各モデルパラメータに対して設定した事前分布(黒線)、および求められた事後分布(赤棒グラフ)。事後分布を最大にするパラメータを用いて再現した理論波形(赤線)と観測波形(黒線)の比較。

謝辞: 本研究では、CTBTO夷隅観測点の微気圧データを使わせて頂きました。