# Effects of mantle fluid content and structure on the seismicity of the New Madrid Seismic Zone

#### Arushi Saxena

Brown Bag Presentation

January 11, 2018

æ

## Motivation



Epicenters of the earthquakes (> Mw2.0) in and around the New Madrid Seismic Zone (NMSZ) from May, 2002

to May, 2017.

・ロト ・聞ト ・ヨト ・ヨト

◆□ ▶ < 圖 ▶ < 圖 ▶ < 圖 ▶ < 圖 • 의 Q @</p>

# Background

#### Previous Studies oo



source: Zhan et al., 2016

◆□▶ ◆□▶ ◆三▶ ◆三▶ 三三 のへぐ

▲ロト ▲帰ト ▲ヨト ▲ヨト 三日 - の々ぐ

#### **Previous Studies** $\circ$



source: Cox and Arsdale, 2002

▲ロト ▲周ト ▲ヨト ▲ヨト ヨー のくで

#### **Previous Studies**



source: Biryol et al., 2016

ж

#### Objectives



source: Nyamwandha et al., 2016

Model the stress distribution in the NMSZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nyamwandha et al., 2016; Chen et al., 2016

<sup>2</sup>Cox and Arsdale, 1997; Cox and Arsdale,  $2002 \rightarrow 400$ 

#### Objectives



source: Nyamwandha et al., 2016

- Model the stress distribution in the NMSZ<sup>1</sup>
- Investigate the LAB beneath the ME <sup>2</sup>using S wave receiver functions

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Nyamwandha et al., 2016; Chen et al., 2016

# **Geodynamic Modelling**

▲ロト ▲帰ト ▲ヨト ▲ヨト 三日 - の々ぐ

## Methodology

► Tomography from Nyamwandha et al., 2016 → Rheology Effective viscosity for linear Maxwell rheology:

$$\eta_{eff} = \dot{\varepsilon}^{\frac{1-n}{n}} f_{H_2O}^{\frac{-r}{n}} \left( A \exp(-H/RT) \right)^{-1/n}.$$
(1)

▲ロト ▲帰ト ▲ヨト ▲ヨト 三日 - の々ぐ

## Methodology

► Tomography from Nyamwandha et al., 2016 → Rheology Effective viscosity for linear Maxwell rheology:

$$\eta_{eff} = \dot{\varepsilon}^{\frac{1-n}{n}} f_{H_2O}^{\frac{-r}{n}} \left( A \exp(-H/RT) \right)^{-1/n}.$$
(1)



## Methodology

► Tomography from Nyamwandha et al., 2016 → Rheology Effective viscosity for linear Maxwell rheology:

$$\eta_{eff} = \dot{\varepsilon}^{\frac{1-n}{n}} f_{H_2O}^{\frac{-r}{n}} \left( A \exp(-H/RT) \right)^{-1/n}.$$
(1)



 Use stress solution to compute differential stress distribution calculated for various setups

### Case I: Temperature only oo

$$\frac{\partial V_{(p,s)}}{\partial T} = \frac{\partial V_{(p,s)}}{\partial T}_{anh} + \frac{\partial V_{(p,s)}}{\partial T}_{anel}$$
(2)

Anharmonic part is assumed const with depth:

$$\frac{\partial V_{p}}{\partial T}|_{anh} = \frac{1}{2V_{p}}\frac{\partial K}{\partial T} + \frac{2}{3V_{p}}\frac{\partial \mu}{\partial T} - \frac{1}{2}\frac{V_{p}}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial T} \qquad (3)$$

Anelastic effects approximated by Goes et al., 2000:

$$\frac{\partial V_{p}}{\partial T}|_{anel} = Q^{-1} \frac{aH}{2RT^{2}\tan(\pi a/2)}$$
(4)

▲ロト ▲帰ト ▲ヨト ▲ヨト 三日 - の々ぐ

Concentration

# Case I: Temperature only $\circ$



of stress in the upper crust due to high temperature (weaker) mantle

#### Case I: Temperature only

#### Temperature anomalies converted from Vs and Vp



Figure: Temperature anomalies at various depths

Case II: Water content and temperature  $\circ \circ \circ$ 

1.) We have the following relationship from Karato , 1998:

$$V(\omega, T, P, C) = V_o(T, P) \left[ 1 - \frac{1}{2} \cot\left(\frac{\pi\alpha}{2}\right) \left(\frac{A + BC_{OH}}{\omega}\right)^{\alpha} \right]$$
$$exp\left(-\alpha\beta\frac{T_m}{T}\right)$$

2.) 
$$\partial V_s = \partial V_s^T + \partial V_s^{OH}$$
  
3.)

$$\partial C_{OH} = -\frac{\partial V_{OH}}{V_o(T,P)} \left(2\tan\frac{\pi\alpha}{2}\right) \frac{\omega}{\alpha B} \left(\frac{A}{\omega}\right)^{1-\alpha} \exp\left(\alpha\beta\frac{T_m}{T}\right)$$

▲□▶ ▲圖▶ ▲臣▶ ▲臣▶ ―臣 … のへで

Case II: Water content and temperature oo



▲ロト ▲帰ト ▲ヨト ▲ヨト 三日 - の々ぐ

#### Case II: Water content and temperature $\circ$



Figure: Depth slice at 10 km to show concentration of differential stress in model with fluid

#### Case II: Water content and temperature



#### Composition and temperature

Presence of opx reduces Vp more than Vs

 $\partial V_{s,p} = \frac{\partial V_{s,p}}{\partial T} \cdot \delta T(X) + \frac{\partial V_{s,p}}{\partial X_{opx}} \cdot \delta X_{opx}$ (5)

- Non-linear equation in composition
- Solve for  $\delta T$  and  $\delta X_{opx}$  simultaneously <sup>3</sup>

<sup>3</sup>Iterative methods like N-R

# Challenges

- Inversion of  $C_{OH}$ , T and X with P and S tomography is non-unique
- Depth of low velocity anomaly not resolved well to observe the fluid transport from the stagnant Laramide slab
- Model for fluid transport and presence of opx unclear
- Effects of compositional changes in rheology not well understood

# **Receiver Functions**

#### S-wave Receiver Functions $\circ$



#### Figure: SRF for detection of LAB

source: Hansen et al., 2010  $\langle \Box \rangle \langle \Box \rangle$ 

э

(日)、

#### S-wave Receiver Functions



Figure: Synthetic seismogram (left) for the velocity model in the ME  $\ensuremath{\mathsf{ME}}$ 

◆□▶ ◆□▶ ◆臣▶ ◆臣▶ 臣 のへぐ

#### Methodology

#### $1. \ {\sf Rotate}$ the preprocessed event into ${\sf RTZ}$

▲ロト ▲帰ト ▲ヨト ▲ヨト 三日 - の々ぐ

#### Methodology

- $1. \ {\sf Rotate}$  the preprocessed event into  ${\sf RTZ}$
- 2. Bin events based on the azimuth for stacking
- 3. F-K analysis on P wave coda per station per bin

## Methodology

- $1. \ \mbox{Rotate}$  the preprocessed event into  $\mbox{RTZ}$
- 2. Bin events based on the azimuth for stacking
- 3. F-K analysis on P wave coda per station per bin
- 4. Generate SRF: deconvolve the source function (Z) from the corresponding radial (R) component

## Methodology

- $1. \ \mbox{Rotate}$  the preprocessed event into  $\mbox{RTZ}$
- 2. Bin events based on the azimuth for stacking
- 3. F-K analysis on P wave coda per station per bin
- 4. Generate SRF: deconvolve the source function (Z) from the corresponding radial (R) component
- 5. Improve S/N ratio using noise-removal techniques
- 6. Migrate to depth using Crust1.0 and iasp91 model

< ロ > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

#### Data o



Figure: Possible ray paths for S to P converted waves for mantle S waves

#### Data

#### **Station Locations**



◆□▶ ◆□▶ ◆臣▶ ◆臣▶ 臣 のへぐ

Data

#### **Station Locations**





◆□▶ ◆□▶ ◆臣▶ ◆臣▶ 臣 のへぐ

▲ロト ▲帰ト ▲ヨト ▲ヨト 三日 - の々ぐ

# Challenges Anticipated

- Irregular LAB structure across ME due to gradual velocity decrease
- Implementation of denoising techniques

Thank you!

Questions/Suggestions?

◆□▶ ◆御▶ ◆臣▶ ◆臣▶ 臣 の�?