

2015年12月2日

京都大学防災研究所一般研究集会

新世代SARがもたらす災害・環境モニタリングの進展
(京都大学宇治キャンパス おうばくプラザ)

Hokkaido University
SPACE GEODESY

北海道大学・理学研究院・自然史科学部門

宇宙測地学研究室

ダイク貫入時における非地震性横ずれすべりの検出: 2005-2010年エチオピア・Afar

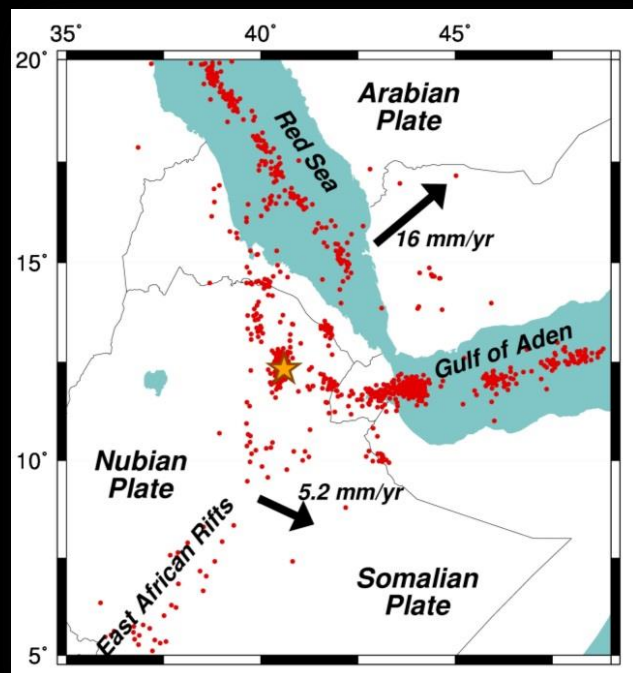
姫松 裕志*, 古屋 正人

北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

東アフリカ地溝帯

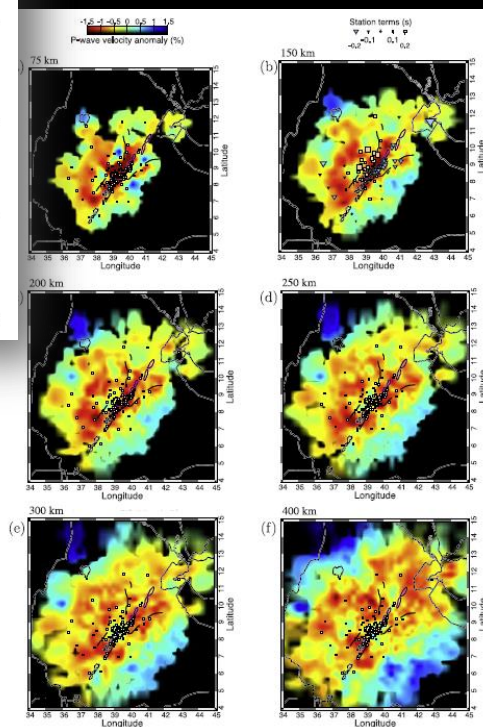
エチオピア・Afar盆地

1. Introduction



Seismicity was acquired from
USGS catalogue ($M > 4$, 1960-2010)

Seismic low-velocity anomaly
in Afar basin



Bastow et al. (2008) Fig. 7

/3本のプレート発散境界

- ・紅海 [NW-SE]
- ・アデン湾 [ENE-WSW]
- ・東アフリカ地溝帯 [NE-SW]

[e.g., McKenzie et al., 1970]

/過去1万年に37つの火山噴火

現在も7つの火山が活動中

[e.g., Ayele et al., 2007]

/数多くの構造線, 断層 [~NW-SE]

[e.g., Barberi and Varet, 1977]

/地熱地帯 & 地震波低速度領域

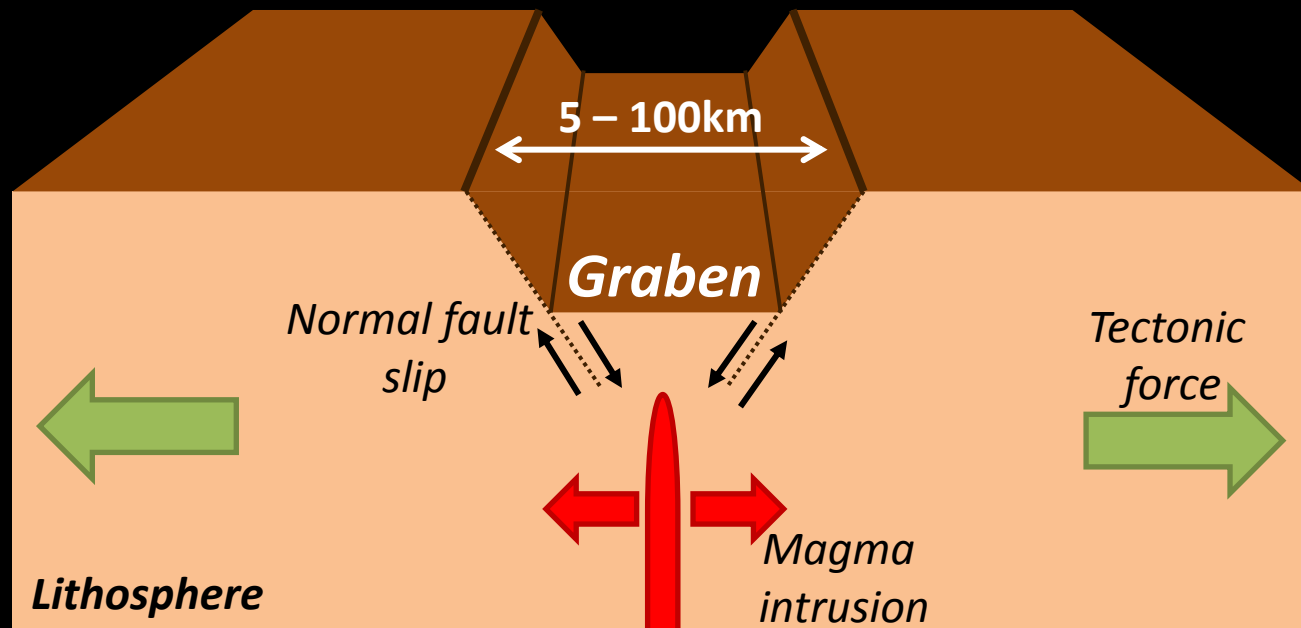
[Benoit et al., 2006; Bastow et al., 2008]

ダイクの貫入

1. Introduction

ダイク貫入イベントの2次的描像

- ・鉛直シート状マグマの貫入
- ・共役断層すべり [正断層ずれ]
- ・震源の移動
(・割れ目噴火)



2005-2010 Afarダイク貫入イベント

1. Introduction

断続的に発生した群発地震とマグマ貫入

September 2005 - May 2010

14 つのダイク貫入イベント
(マグマの貫入 & 群発地震)

マグマの供給源:

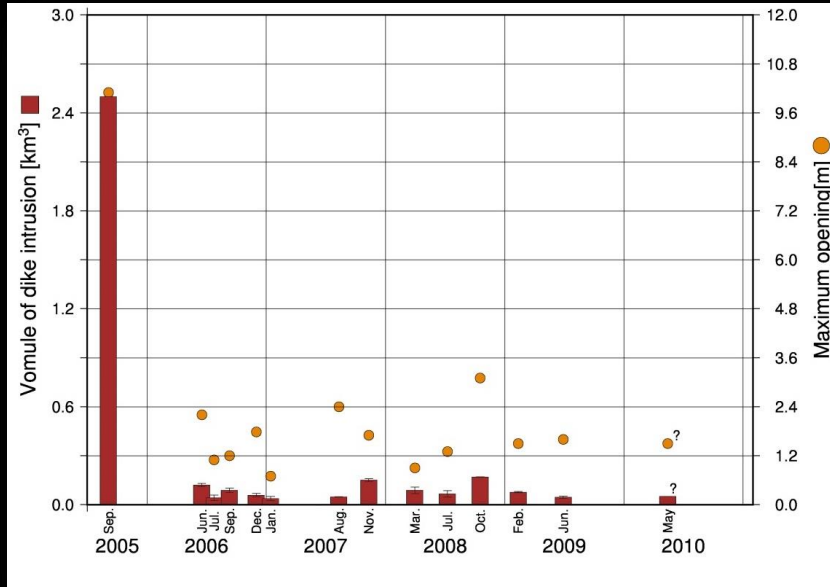
(多重構造) シル状マグマだまり

[e.g., Field et al., 2012; Grandin et al., 2009]

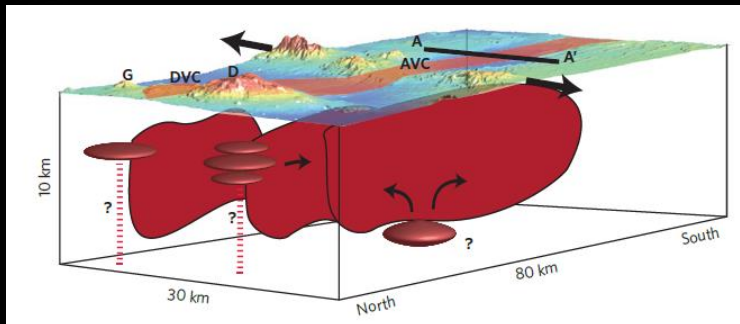
群発地震のメカニズム解:

正断層ずれ & 非ダブルカップル成分

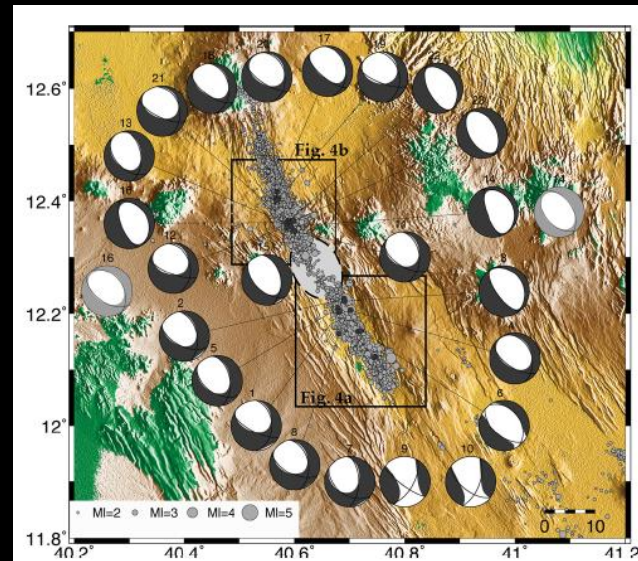
[e.g., Belachew et al., 2013]



The data of volume of dike intrusion & maximum opening acquired from Hamling et al. (2010).



Wright et al. (2012) Fig. 6

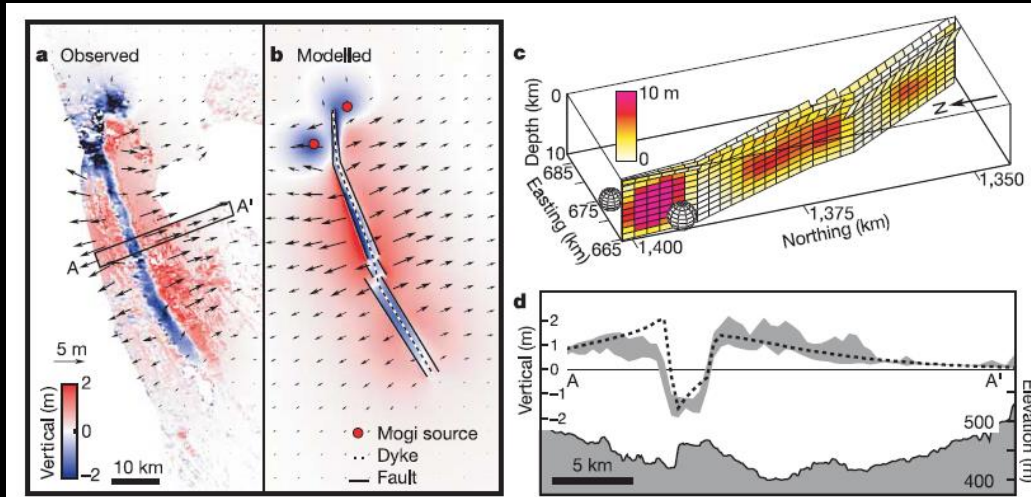


Belachew et al. (2013) Fig. 3

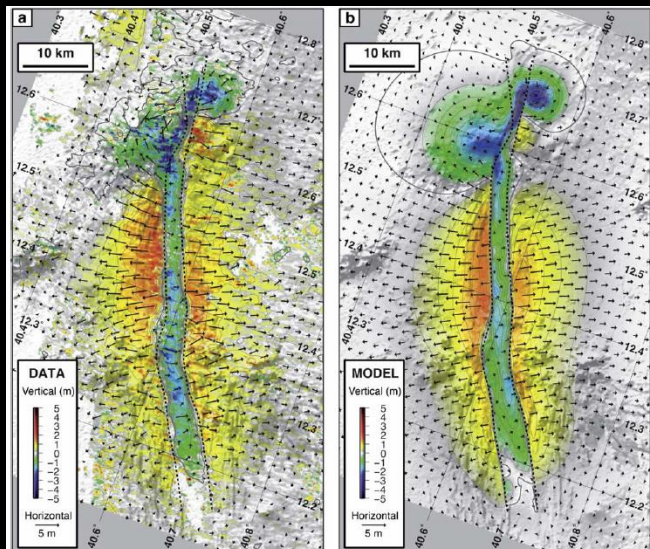
2005-2010 Afarダイク貫入イベント

1. Introduction

断続的に発生した群発地震とマグマ貫入



Wright et al. (2006) Fig. 3



Grandin et al. (2010) Fig. 5

2005年9月のマグマ貫入イベント

SARデータ(&光学画像)

ダイク貫入イベントに伴う3次元変位
→最大開口 8m, 最大断層すべり >7m

2006年6月以降のマグマ貫入イベント

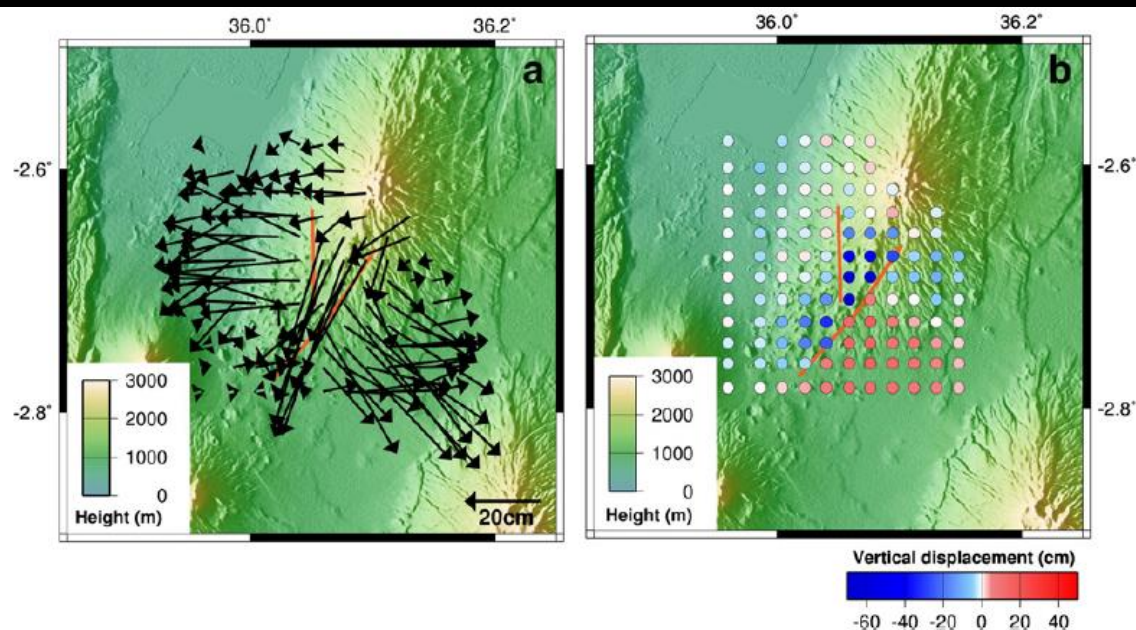
InSAR解析

低干渉性・急峻な変位→データの欠損
[ダイクの貫入量を中心に議論]

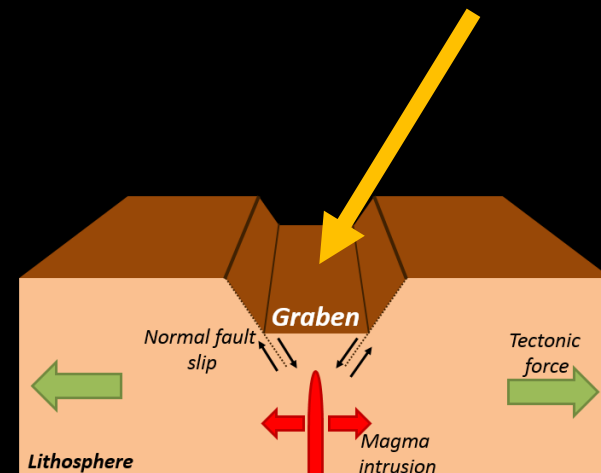
これまでの研究成果

1. Introduction

ダイク貫入時における非地震性横ずれすべりの検出



Himematsu & Furuya (2015, *Tectonophysics*) Fig. 5



2007年タンザニア北部
(2007 Lake Natron rifting event)

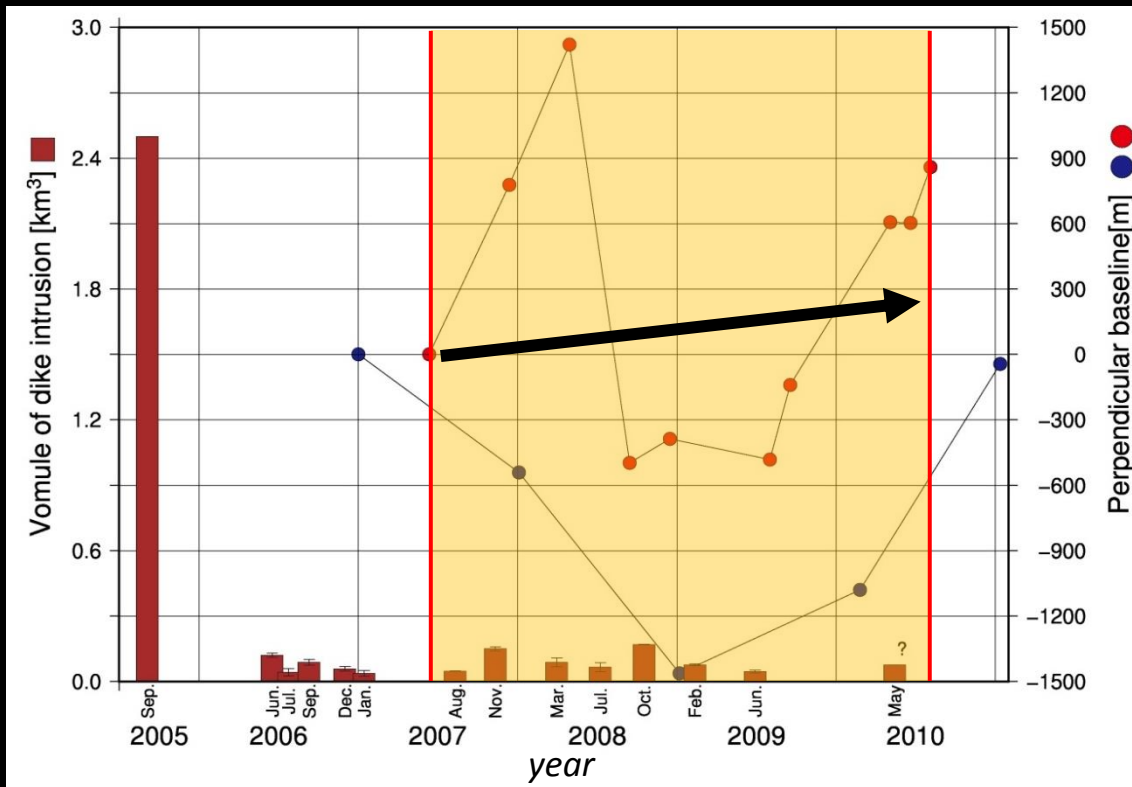
群発地震とダイク貫入時における
「非地震性横ずれすべり」を
示すシグナルを検出

SARデータ

1. Introduction

地殻変動検出に用いたSARデータとダイク貫入イベント

Sensor: ALOS/PALSAR (launched by JAXA)



Ascending [Stripmap]: ● Descending [ScanSAR]: ●
Path: 599, Flame: 230-240 Path: 235, Flame: 3350

~~InSAR & ScanSAR offset tracking~~



Offset tracking [Ascending]

/Range offset [LOS changes]

/Azimuth offset [Along track]

M: 2007.06.12

S: 2010.08.05

[B_perp: 858.5 (m)]

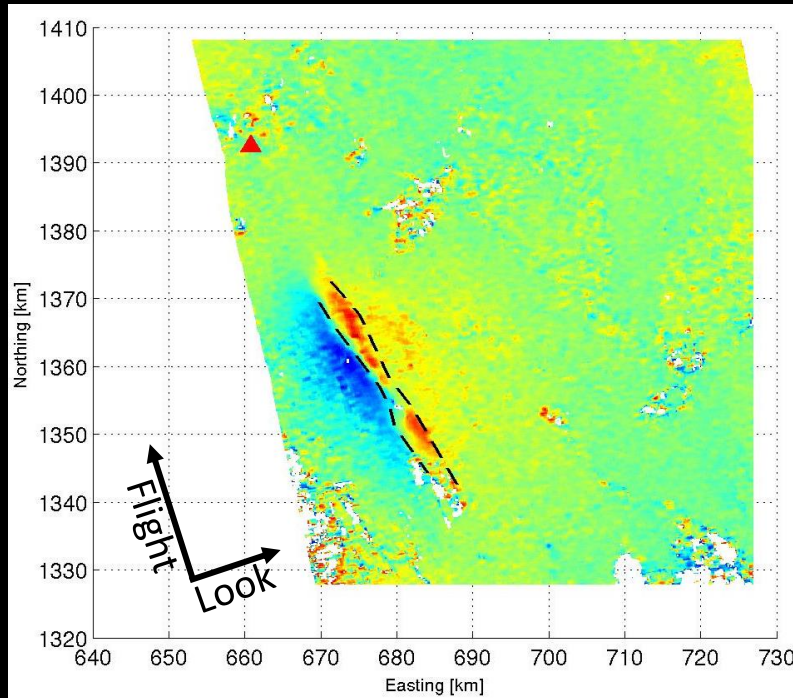
解析結果

2. Result

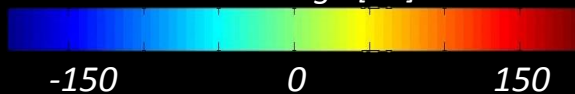
Pixel offset (Range offset & Azimuth offset)

ALOS/PALSAR (Path: 599, Flame: 230-240)
2007.06.12 - 2010.08.05 [Ascending (Stripmap)]
B_perp: 858.5 [m]

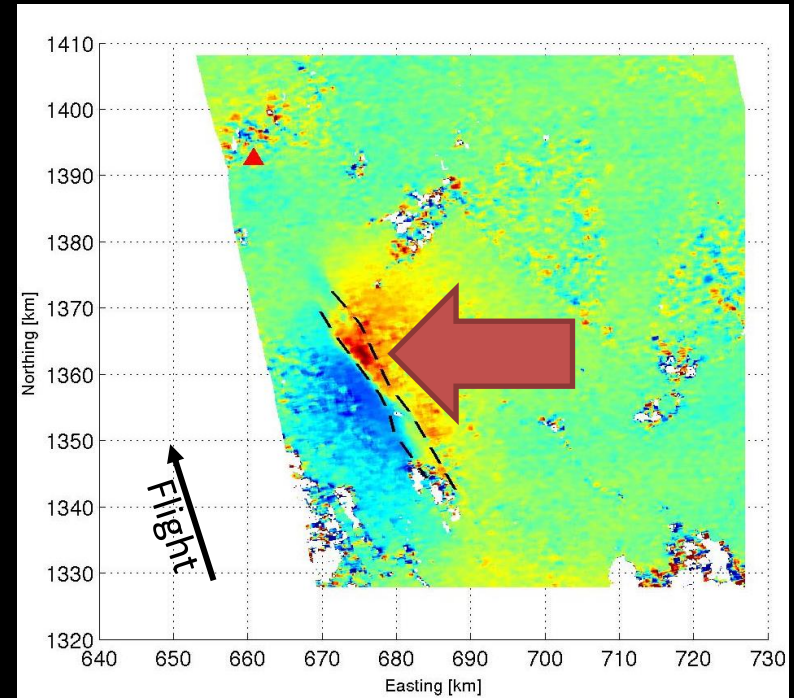
Range offset



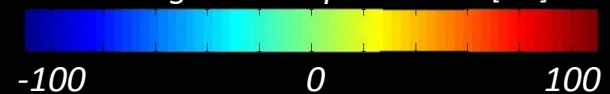
LOS change [cm]



Azimuth offset



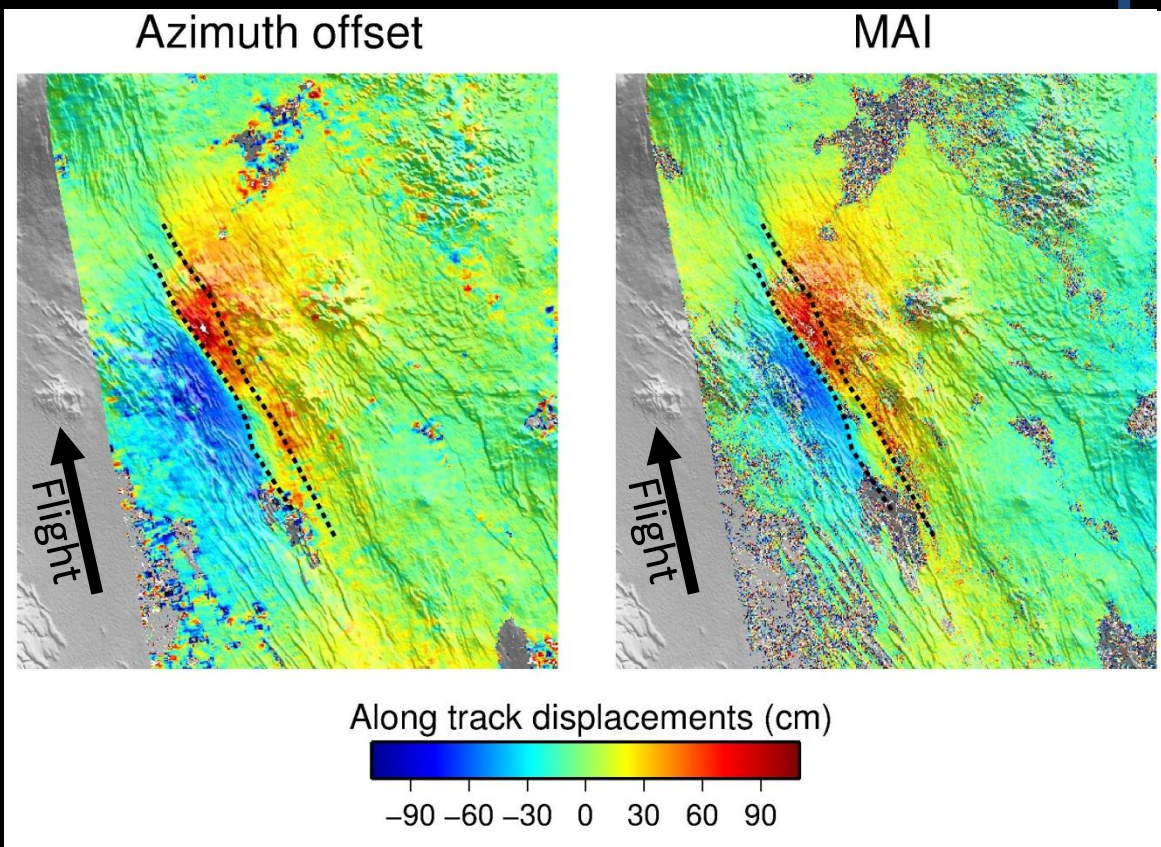
Along track displacement [cm]



解析結果

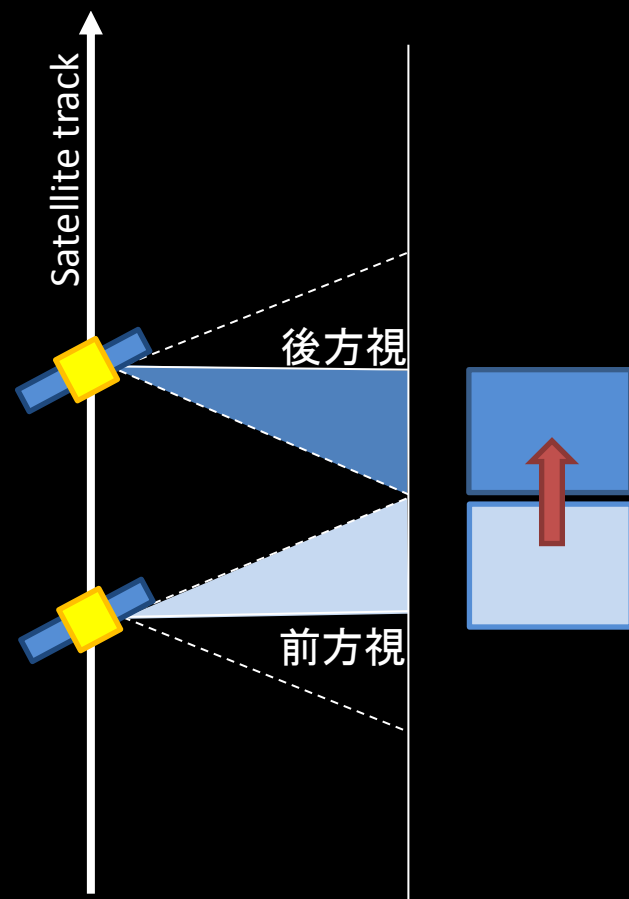
2. Result

Pixel offset (Azimuth offset & MAI)



MAIの結果はAzimuth offsetと調和的な結果を示した。

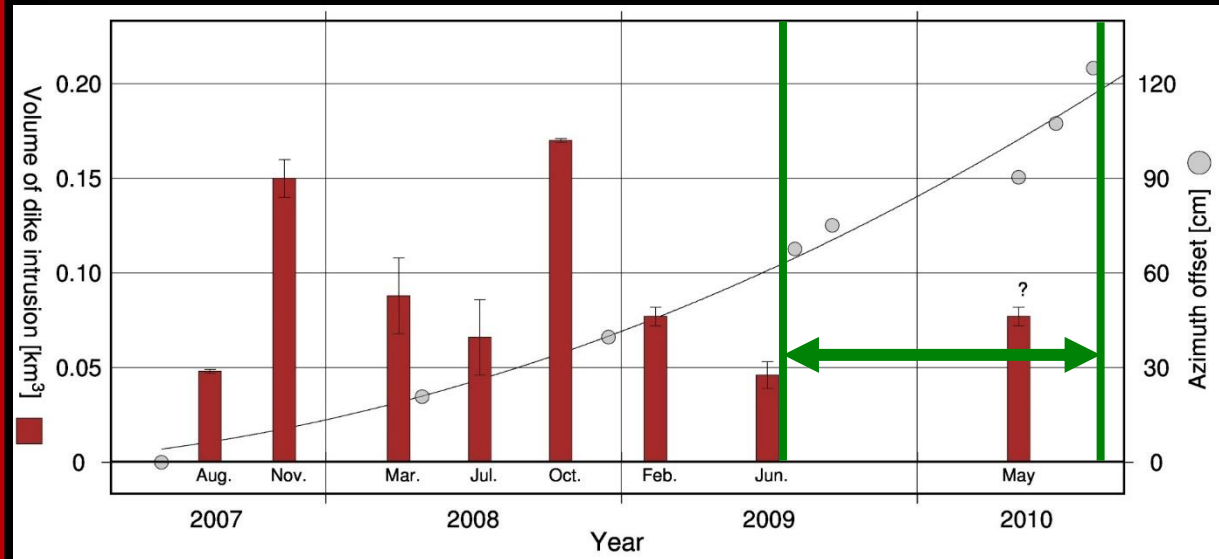
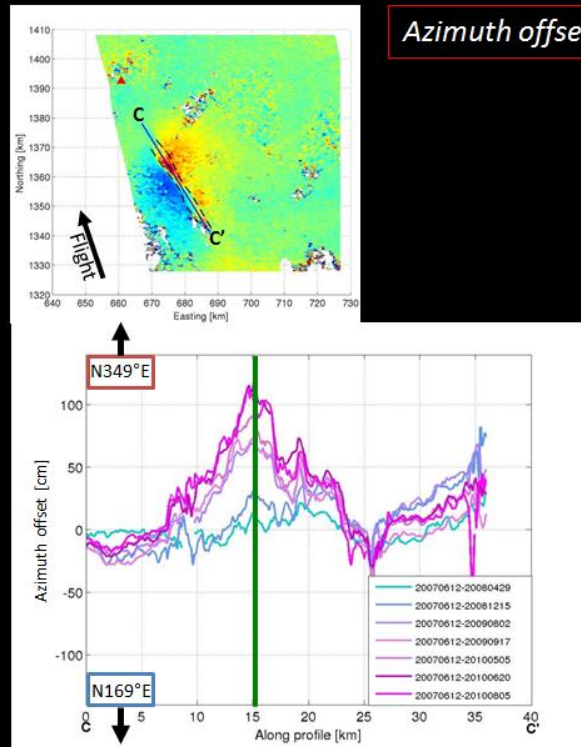
Multiple Aperture Interferometry [MAI]



解析結果

2. Result

横ずれすべりとマグマ貫入量の関係



The data of Volume of dike intrusion acquired from Hamling et al. (2010).

「マグマ貫入量」と「沈降領域における水平変動」

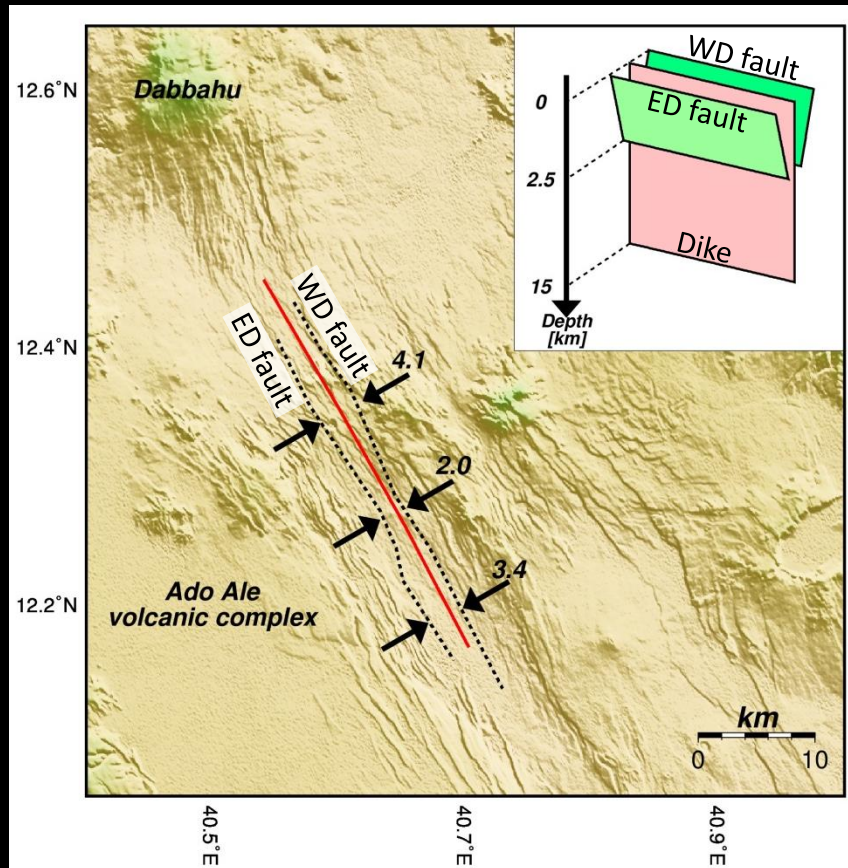


相関関係なし

断層モデルの推定

3. Fault source modeling

断層の形状と位置



西落ち(WD) 断層

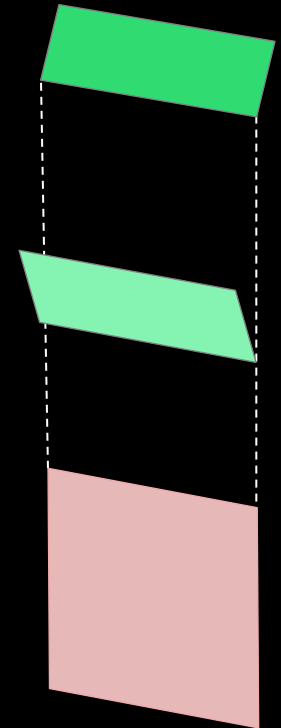
(正断層ずれ
右横ずれ)

東落ち(ED) 断層

(正断層ずれ
右横ずれ)

ダイク貫入

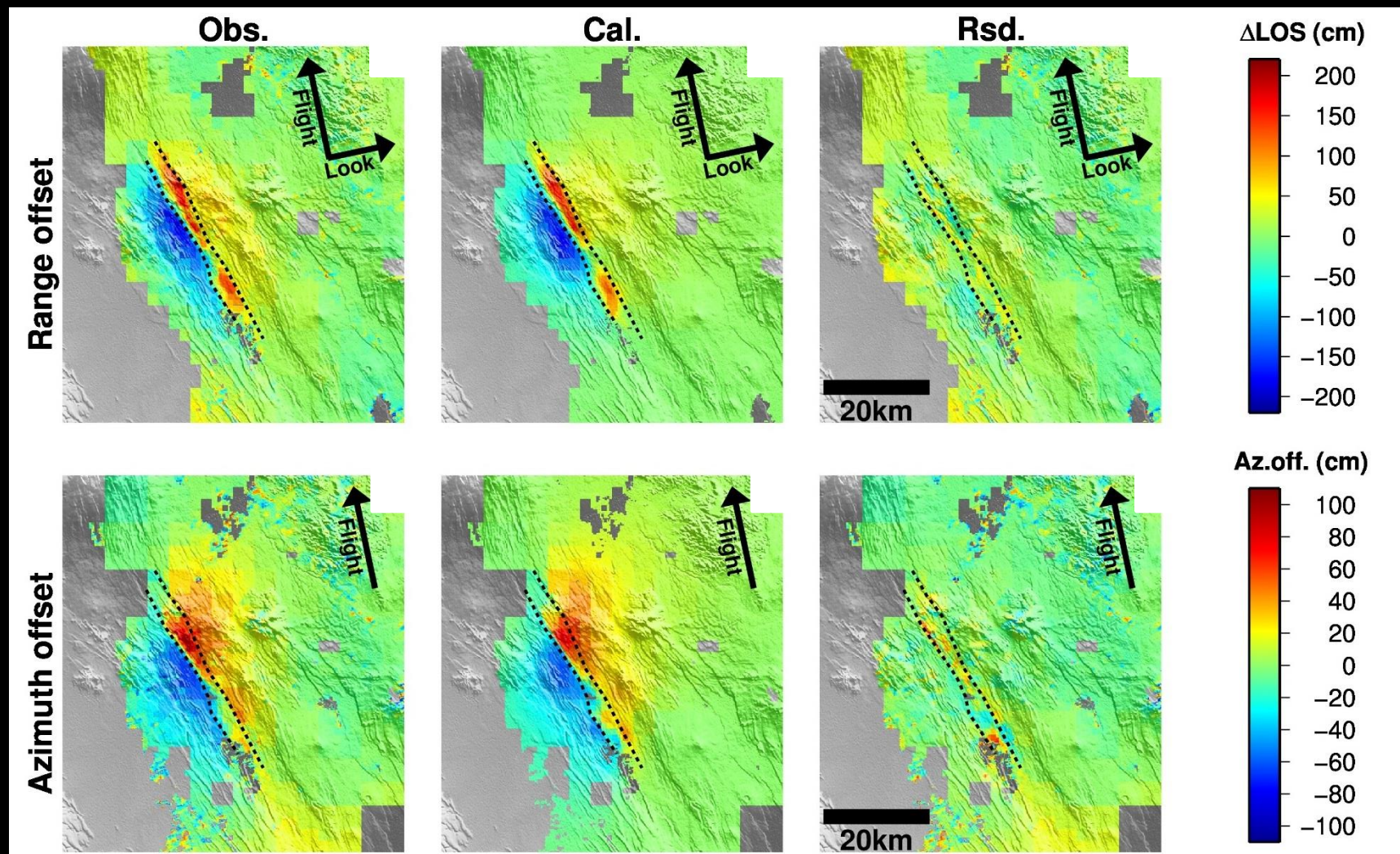
鉛直開口モデル



断層モデルの推定

3. Fault source modeling

観測結果と計算結果との比較



断層モデルの推定

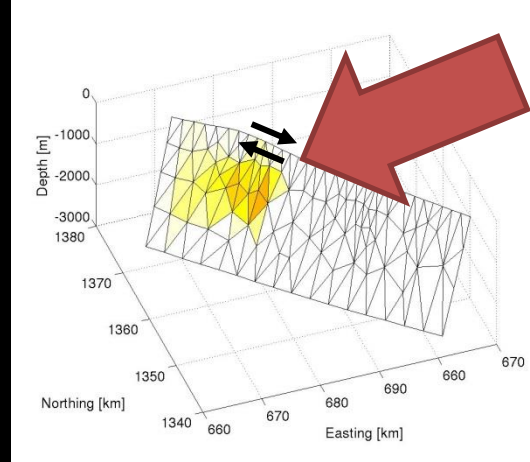
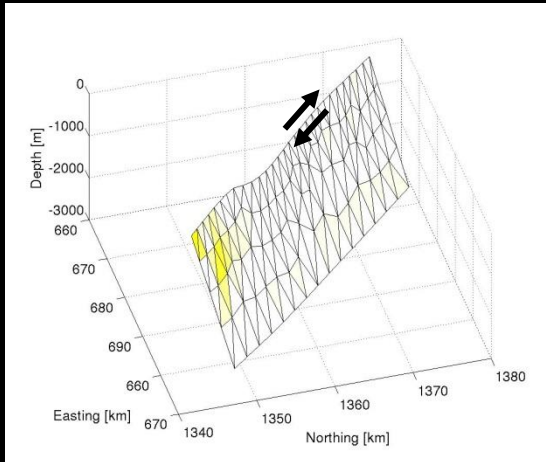
断層のすべり分布

3. Fault source modeling

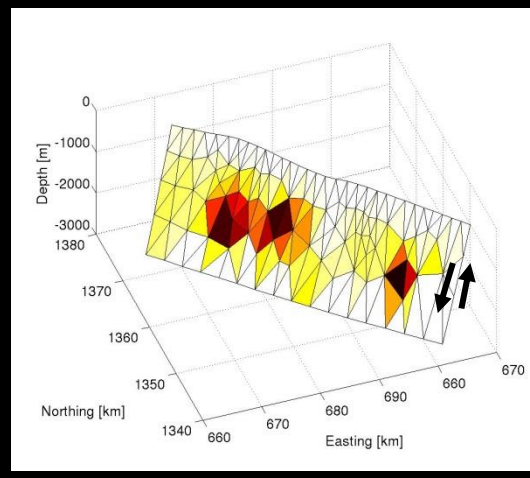
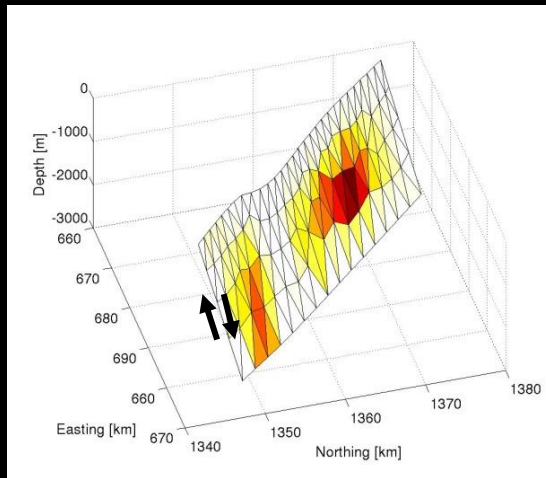
East-dipping fault

West-dipping fault

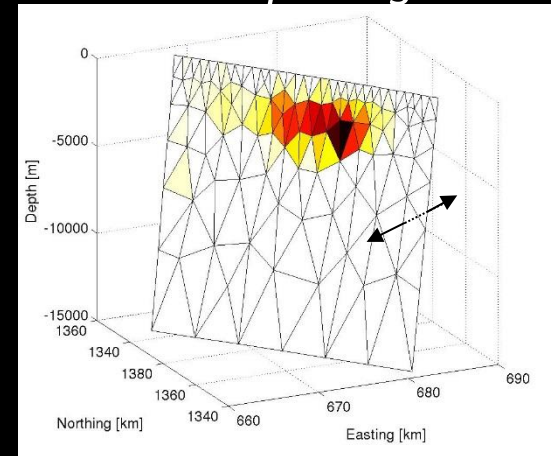
Strike



Normal



Dike opening



Volume of dike intrusion:

0.1237 km³

The ratio of strike slip
component: 13.41 %
(Mw: 6.09)

Slip / Opening [m]



マグマ貫入に伴う応力変化

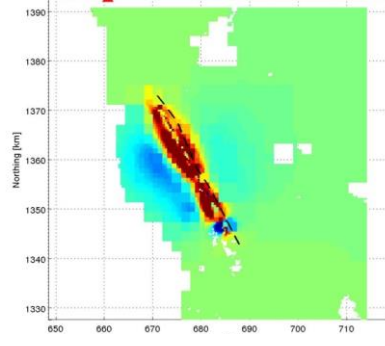
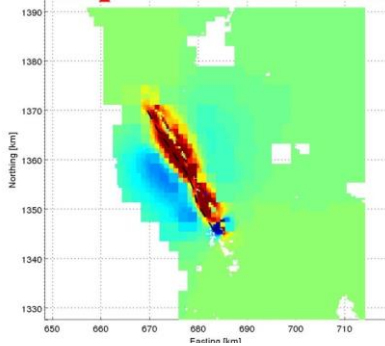
3. Fault source modeling

マグマ貫入は横ずれすべりを誘発するか? ①

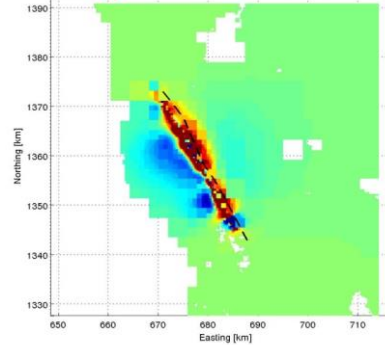
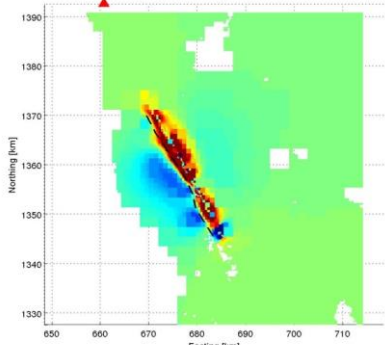
East-dipping fault

West-dipping fault

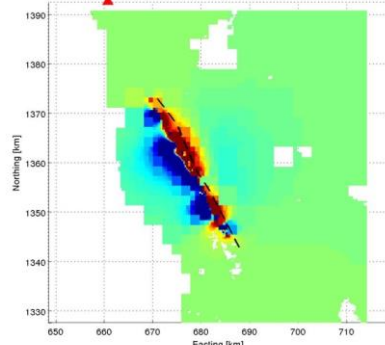
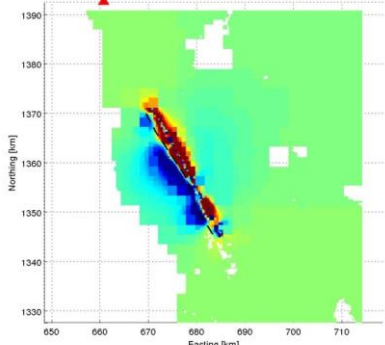
0 km



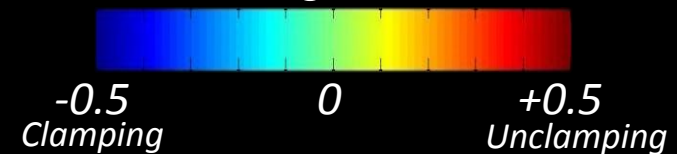
0.5 km



1.0 km



Coulomb stress
change [MPa]



マグマ貫入に伴う応力変化

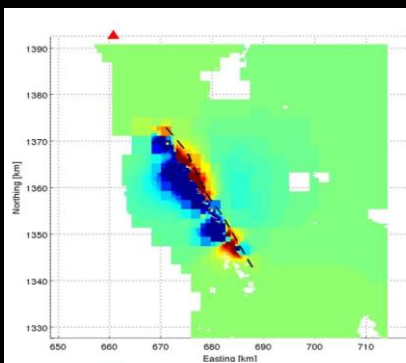
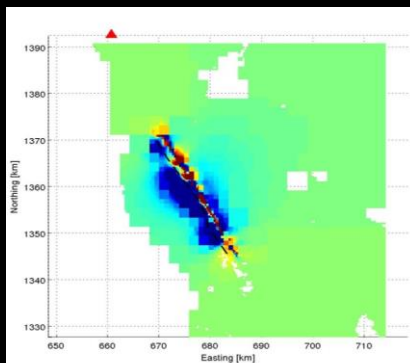
3. Fault source modeling

マグマ貫入は横ずれすべりを誘発するか? ②

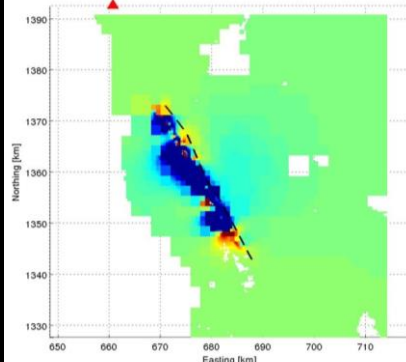
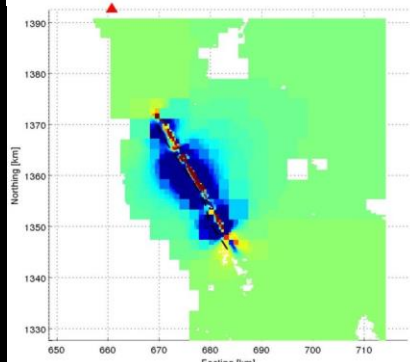
East-dipping fault

West-dipping fault

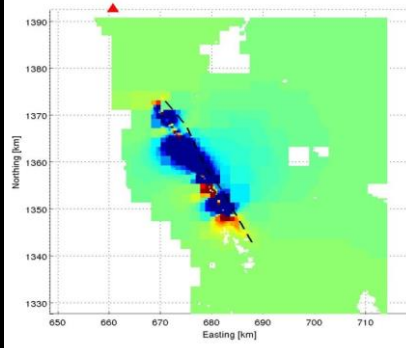
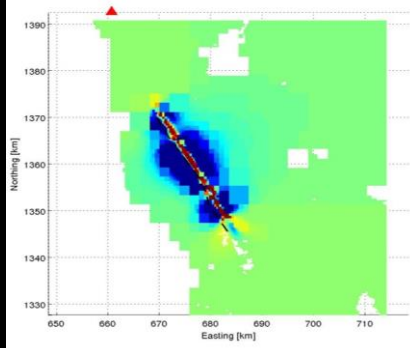
1.5 km



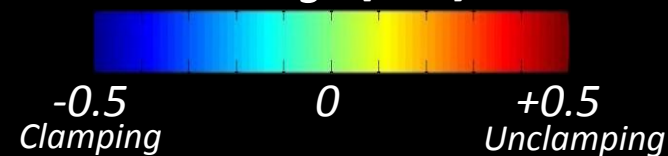
2.0 km



2.5 km



Coulomb stress
change [MPa]

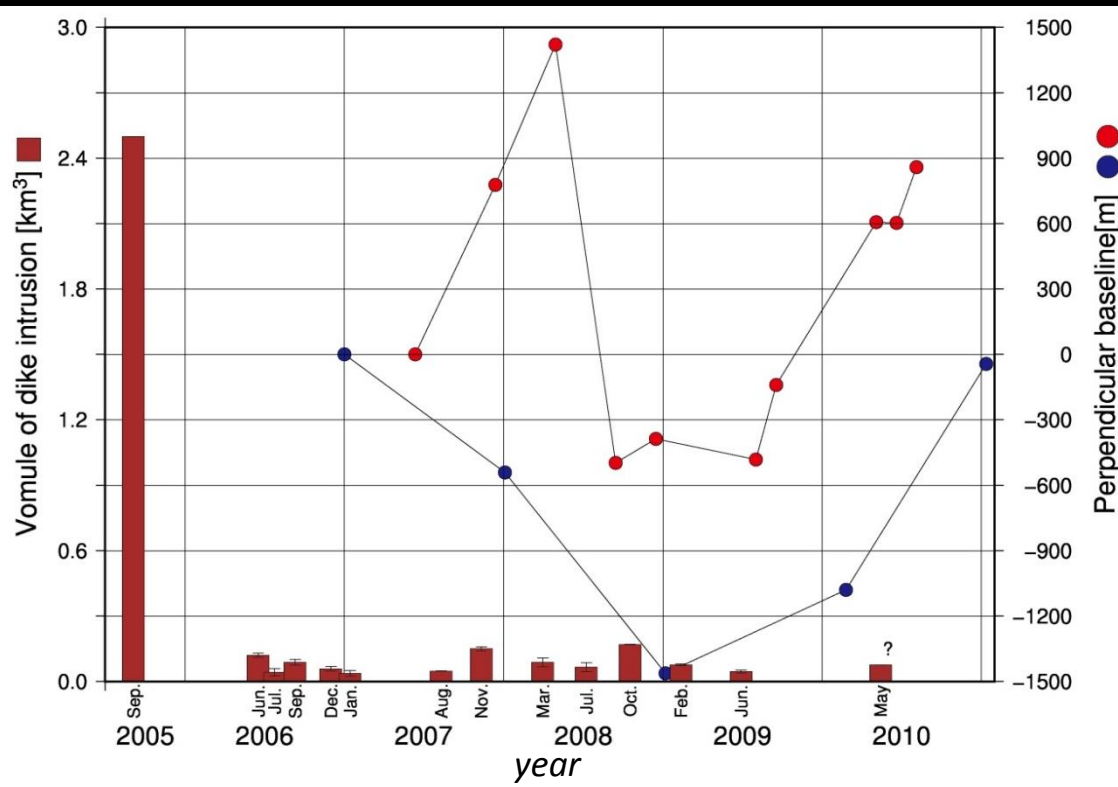


SARデータ

4. ScanSAR offset tracking

地殻変動検出に用いたSARデータとダイク貫入イベント

Sensor: ALOS/PALSAR (launched by JAXA)



Ascending [Stripmap]: ● Descending [ScanSAR]: ○
Path: 599, Flame: 230-240 Path: 235, Flame: 3350

~~InSAR & ScanSAR offset tracking~~

Offset tracking [Ascending]

/Range offset [LOS changes]

/Azimuth offset [Along track]

M: 2007.06.12

S: 2010.08.05

[B_perp: 858.5 (m)]

Forward calculation from model

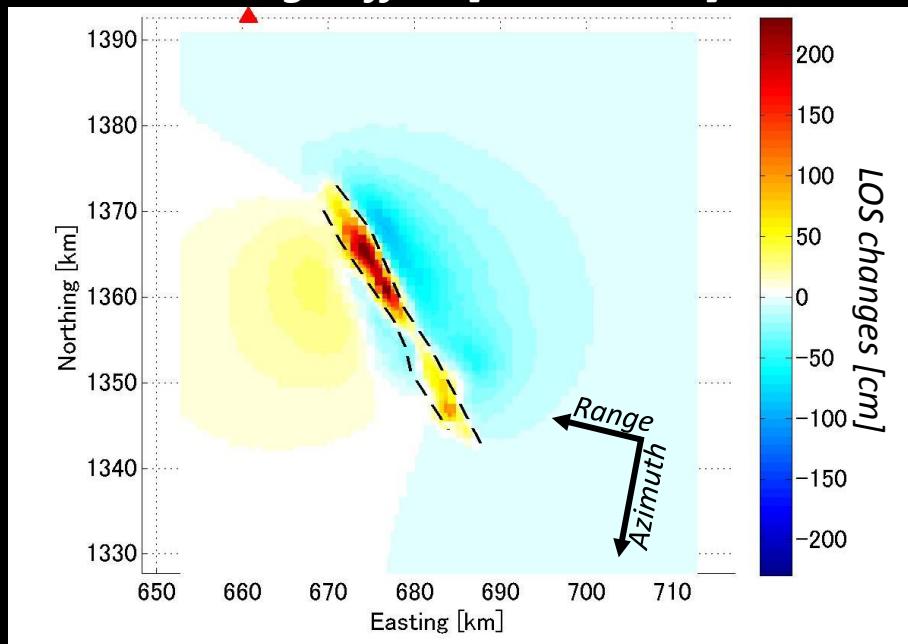
4. ScanSAR offset tracking

Descending LOS & along track

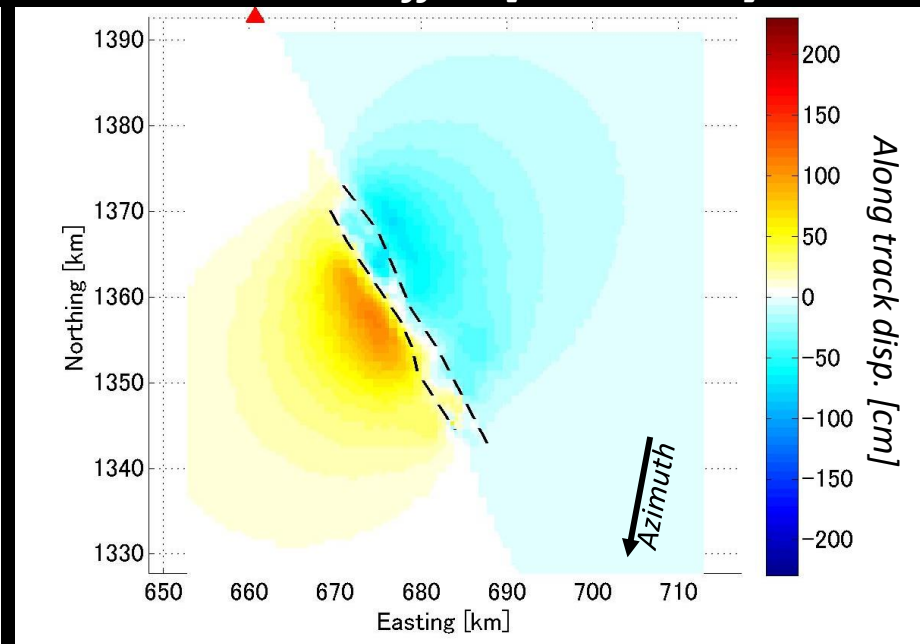
ScanSARデータ [Descending] を用いたOffset trackingの結果を紹介する前に...

断層モデルのすべり分布から求めたDescending LOS & along track displacement

Range offset [Calculation]



Azimuth offset [Calculation]



Extra observation

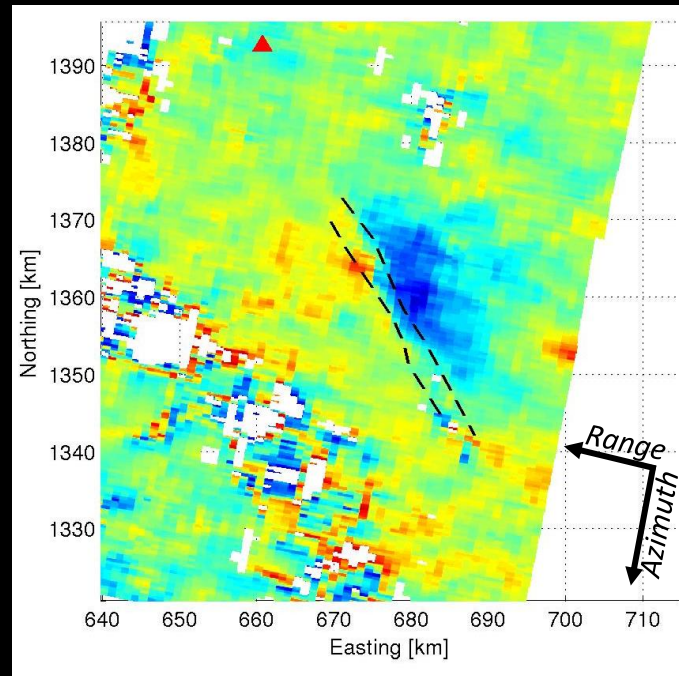
4. ScanSAR offset tracking

ScanSAR offset tracking (Descending)

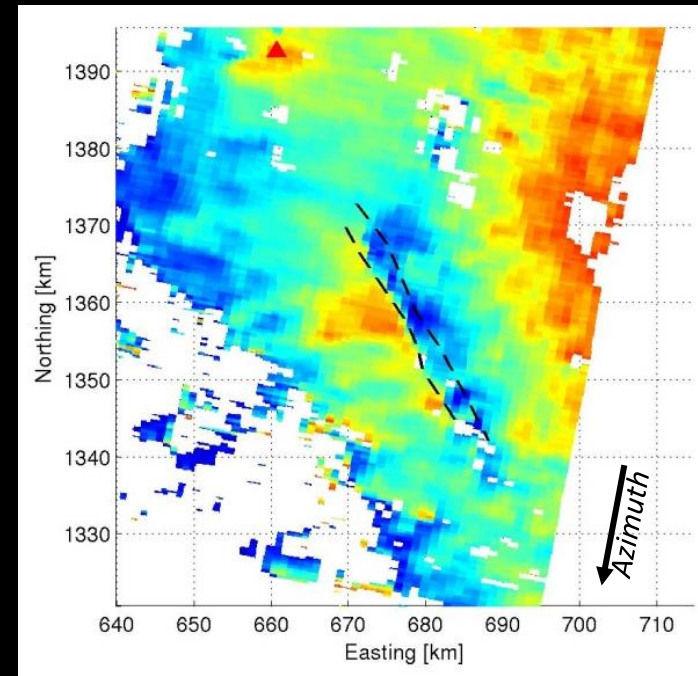
ALOS/PALSAR (Path: 235, Flame: 3350, Swath No. 3)
2007.01.01 - 2011.01.12 [Descending (ScanSAR)]
B_perp: -44.0 [m]

Analysis parameter for offset tracking
/Window size: 256, 512 (Ran., Az.)
/Oversampling rate: 2
/Step in pixel: 64, 128 (Ran., Az.)

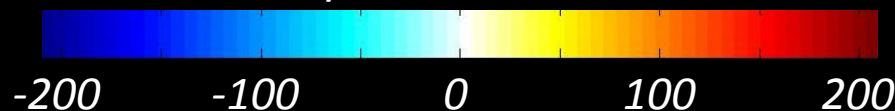
Range offset (LOS change)



Azimuth offset (Along track)



Displacements [cm]



Extra observation

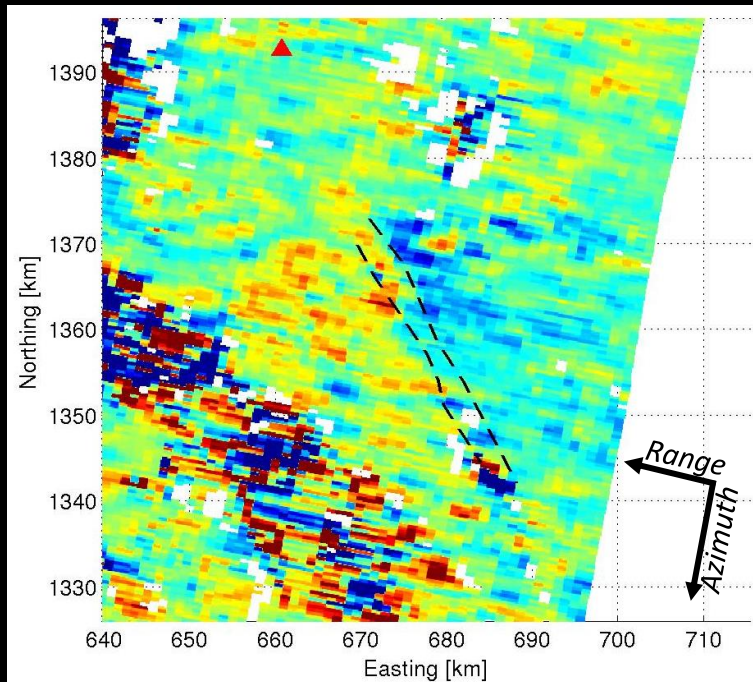
4. ScanSAR offset tracking

ScanSAR offset tracking (Descending)

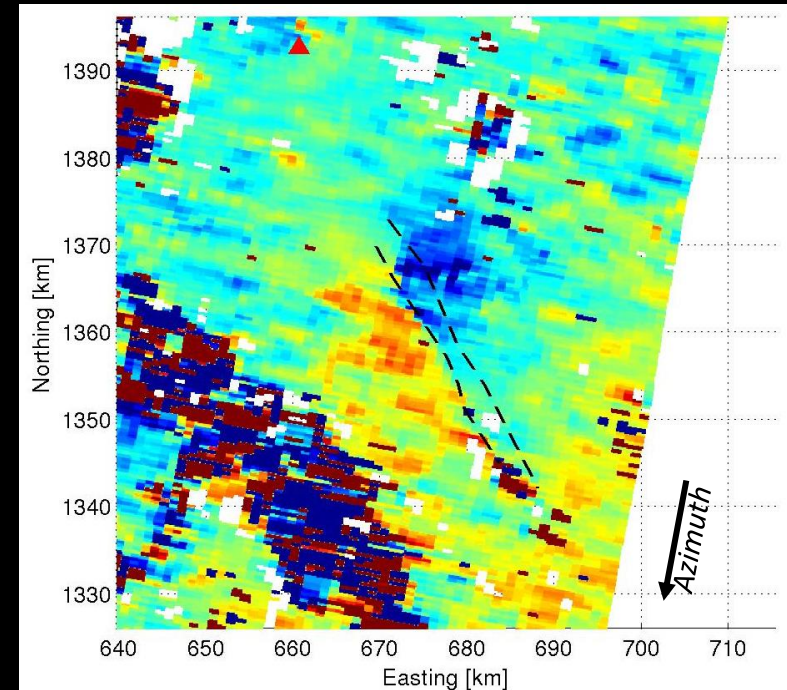
ALOS/PALSAR (Path: 235, Flame: 3350, Swath No. 3)
2008.01.04 - 2011.01.12 [Descending (ScanSAR)]
B_perp: -542.1 [m]

Analysis parameter for offset tracking
/Window size: 256, 512 (Ran., Az.)
/Oversampling rate: 2
/Step in pixel: 64, 128 (Ran., Az.)

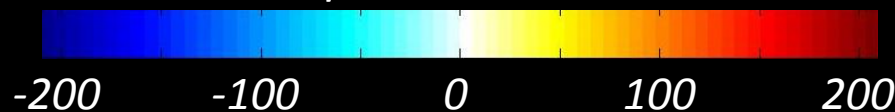
Range offset (LOS change)



Azimuth offset (Along track)



Displacements [cm]



- ・2005－2010年に発生したエチオピアAfar地域における
ダイク貫入イベント時に、グラーベン構造を形成する変位の沈降領域で
顕著な水平横ずれ滑りのシグナルを検出した。
- ・沈降領域の水平横ずれすべりのシグナルは非地震性の断層右横ずれ
の食い違いに伴う変位を示している。
→Bookshelf faultingによる変位
- ・深さ1km以浅で横ずれすべりを誘発するダイク貫入に伴う応力変化が
明らかになった。
- ・Descending [ScanSAR] のOffset trackingの結果は、Ascendingで得られた
Offset trackingの結果を支持する定性的な変動パターンを示した。

謝辞

本研究で用いたPALSARデータはPIXEL (PALSAR Interferometry Consortium to Study our Evolving Land surface)において共有しているものであり、宇宙航空研究開発機構(JAXA)と東京大学地震研究所との共同研究契約によりJAXAから提供されたものである。PALSARデータの所有権は経済産業省およびJAXAにある。本研究(の一部)は、東京大学地震研究所特定共同研究(C)「新世代合成開口レーダを用いた地表変動研究」で行われた。