M7.2 Kumamoto Earthquake
14 and 15 april 2016
-
A compilation of data and results with focus on surface rupture

By Stéphane Baize (IRSN) for the INQUA Project
SURFACE

INQUA
International Union for Quaternary Research

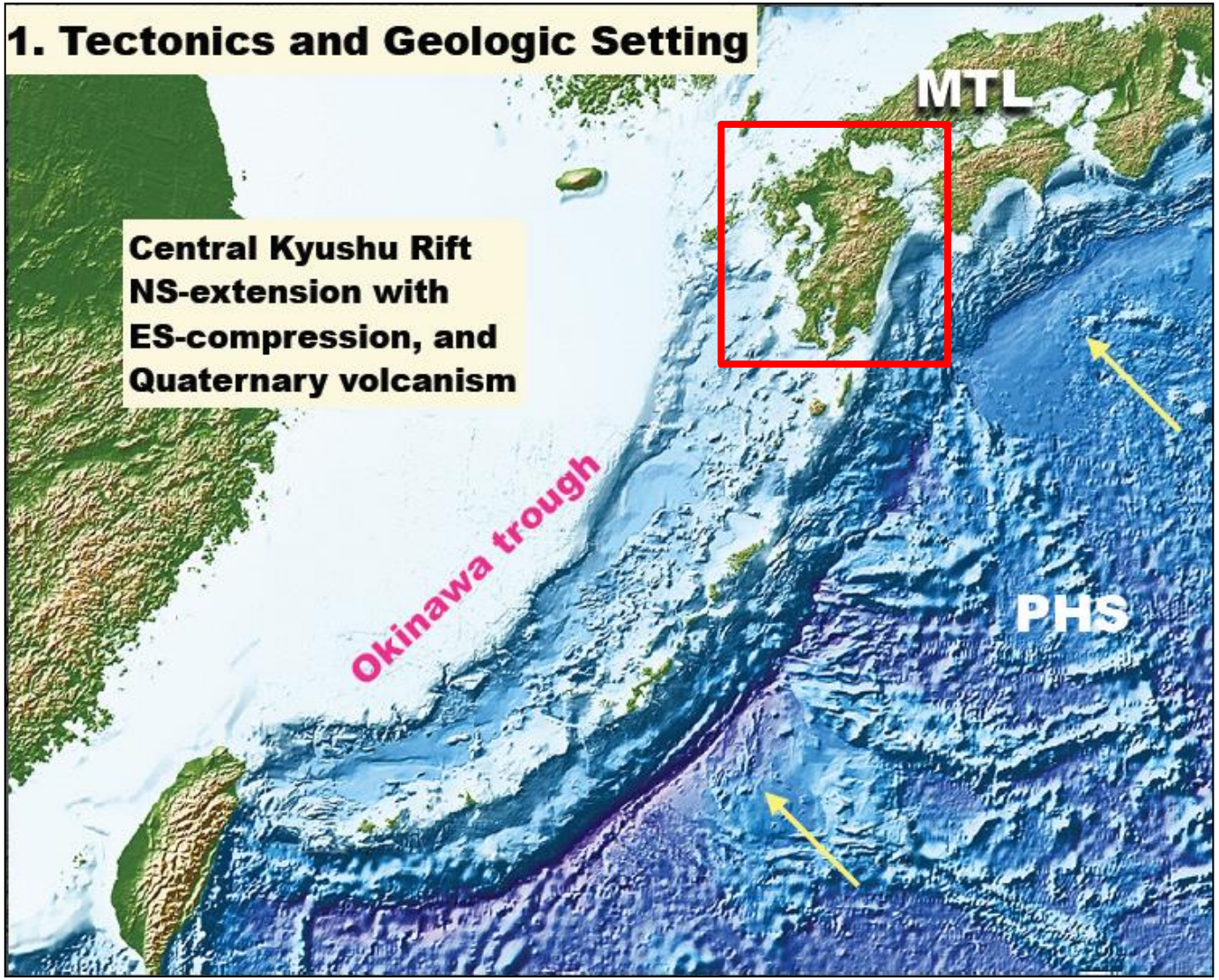
IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Main sources of information:

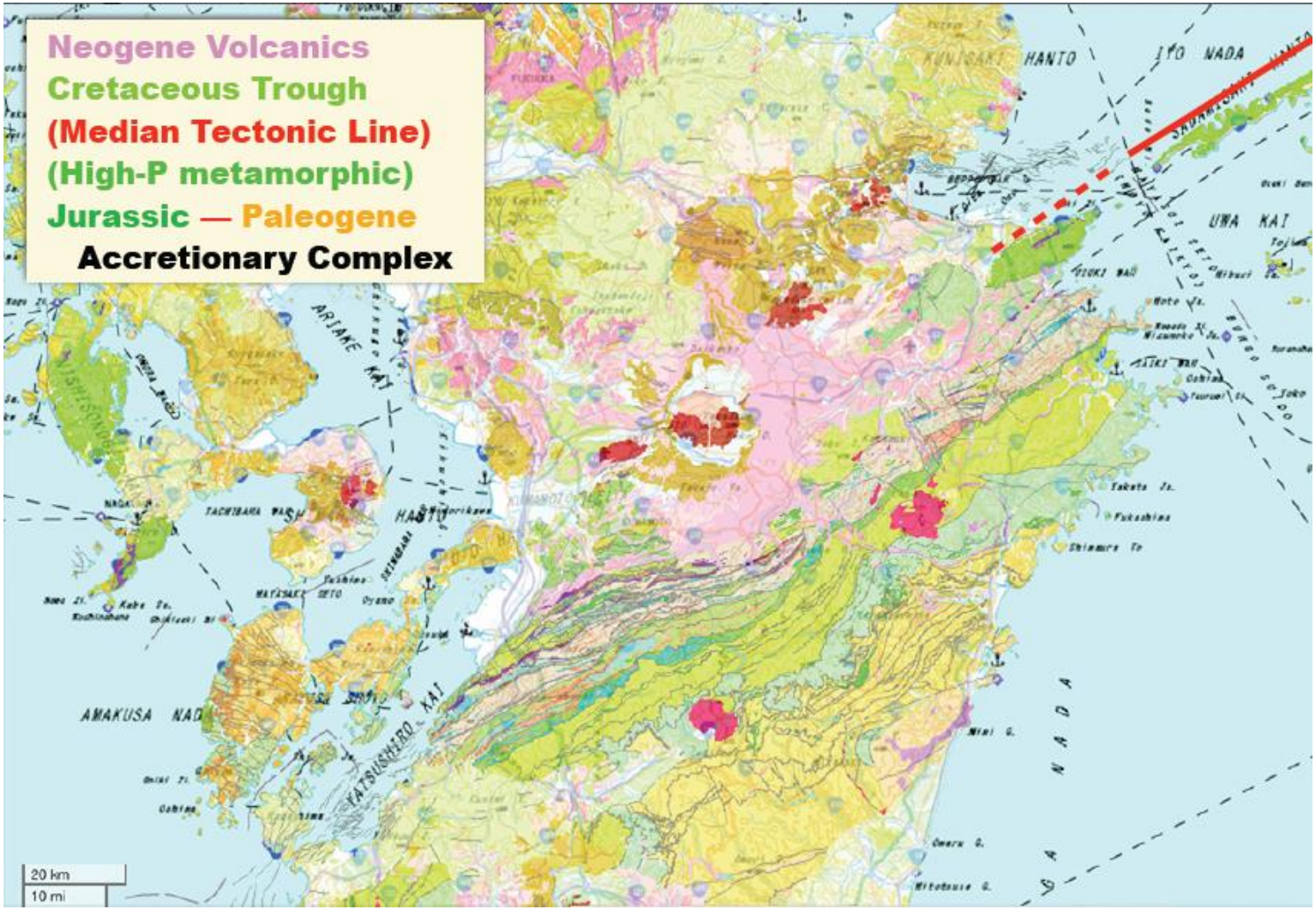
- GSI: Geospatial Information Authority of Japan
- GSJ: Geological Survey of Japan
- AIST: Active Fault Database of Japan
- J-SHIS: Japan Seismic Hazard Information
- USGS: United States Geological Survey
- IPGP: Institut de Physique du Globe de Paris
- PASCO Corporation, Japan

Credit: K. Okumura

Geodynamics of the area

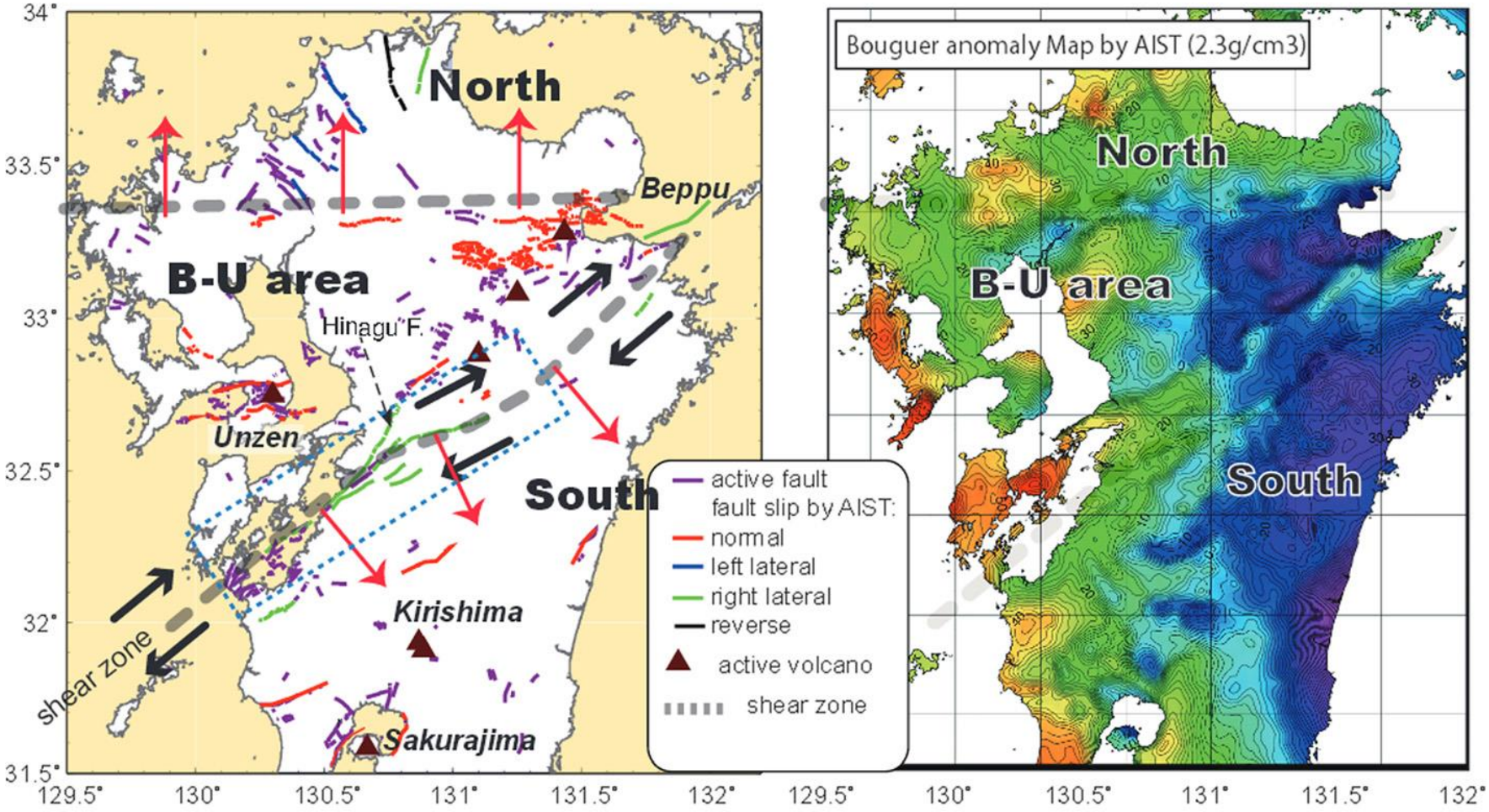


Geodynamics of the area



Credit: K. Okumura

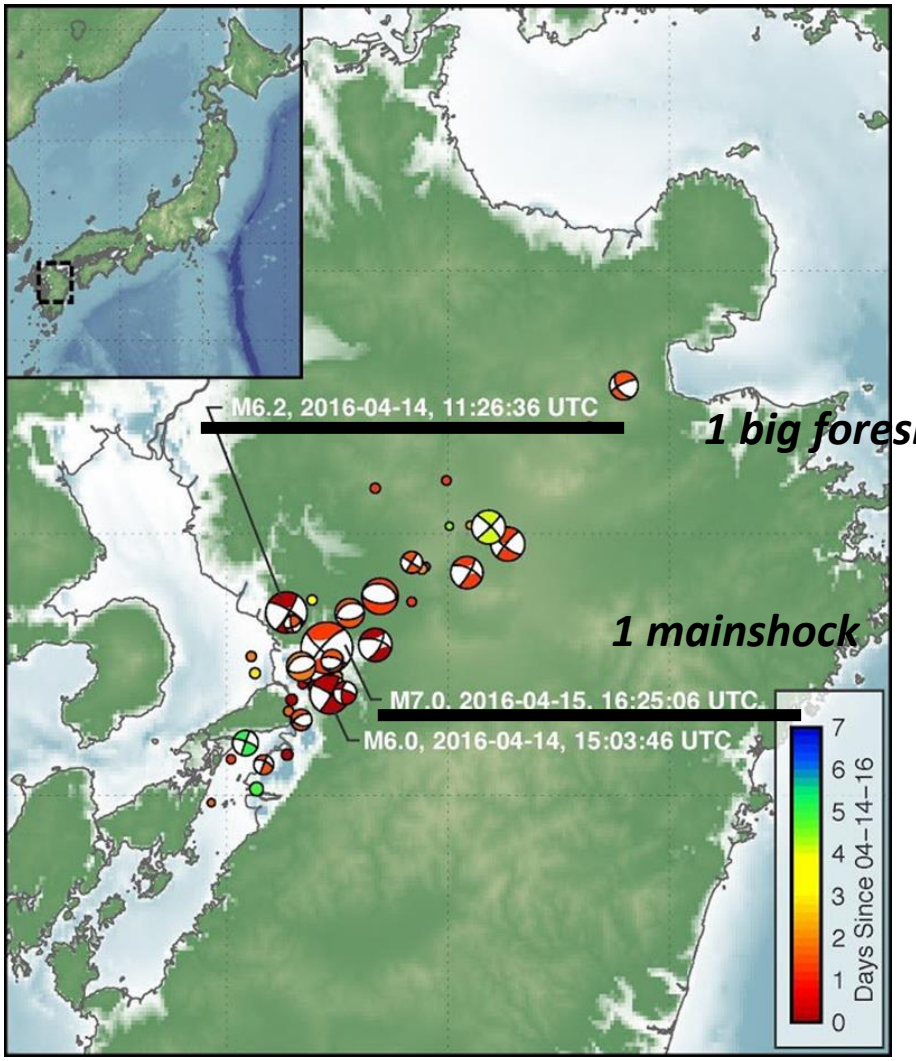
Geodynamics



Matsumoto et al. Earth, Planets and Space (2015

The earthquake sequence

Focal mechanisms of sequence



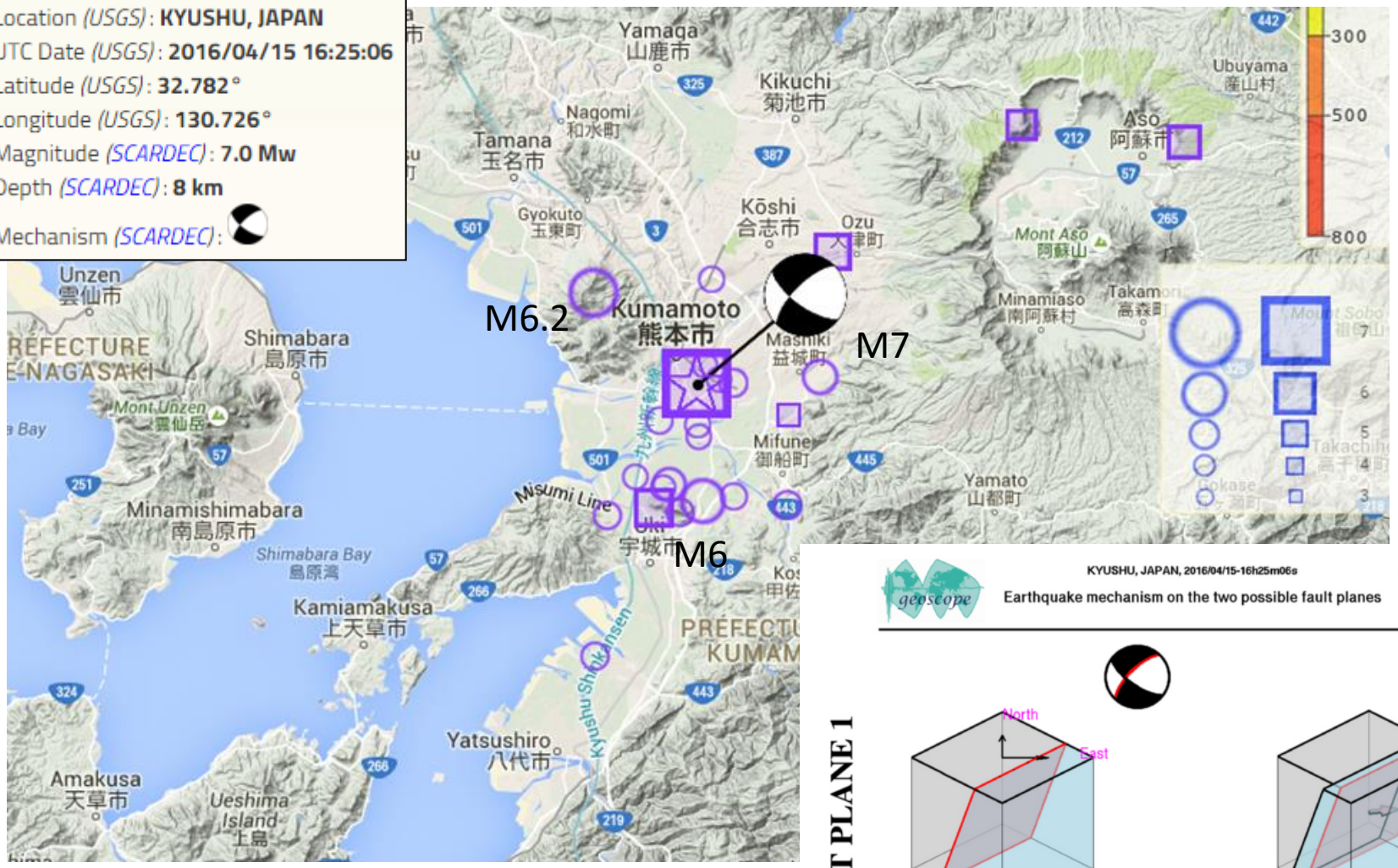
1 big foreshock

1 mainshock

Credit: USGS (19 April)

Earthquake description:

- Location *(USGS)*: **KYUSHU, JAPAN**
- UTC Date *(USGS)*: **2016/04/15 16:25:06**
- Latitude *(USGS)*: **32.782°**
- Longitude *(USGS)*: **130.726°**
- Magnitude *(SCARDEC)*: **7.0 Mw**
- Depth *(SCARDEC)*: **8 km**
- Mechanism *(SCARDEC)*:



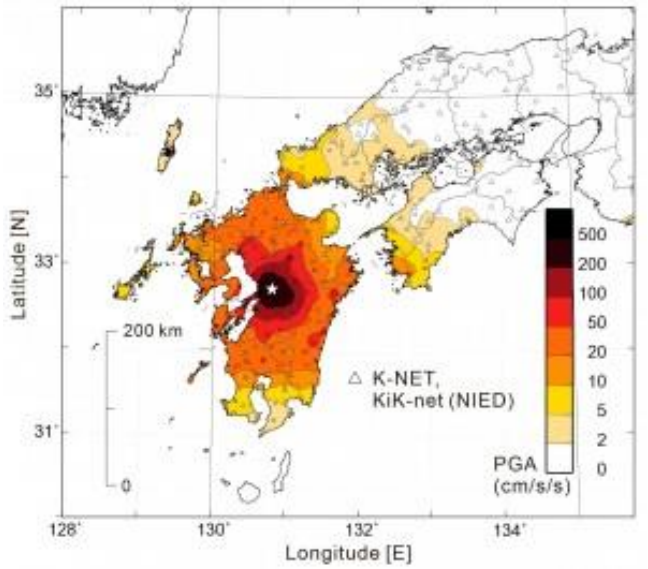
Mainshock: strike N225°, dip 70°
Right-lateral with normal component

Credit: IPGP

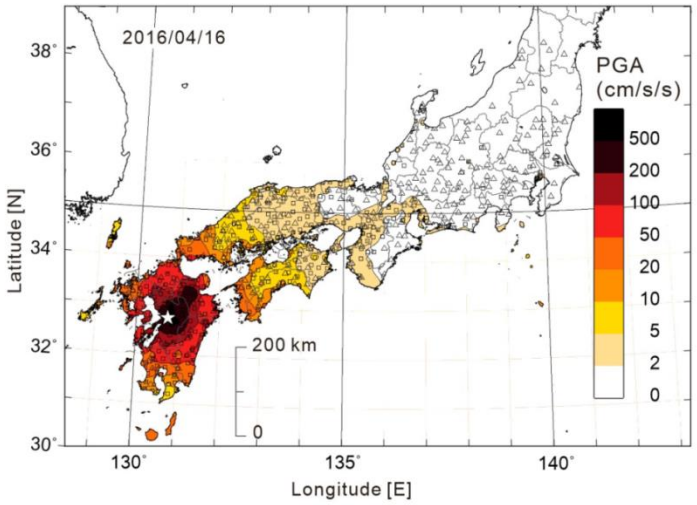
Acceleration

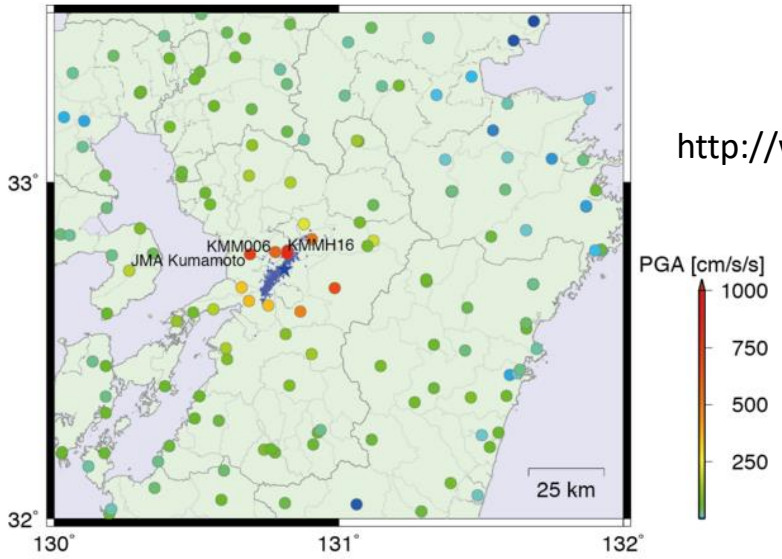
Foreshock

Mainshock

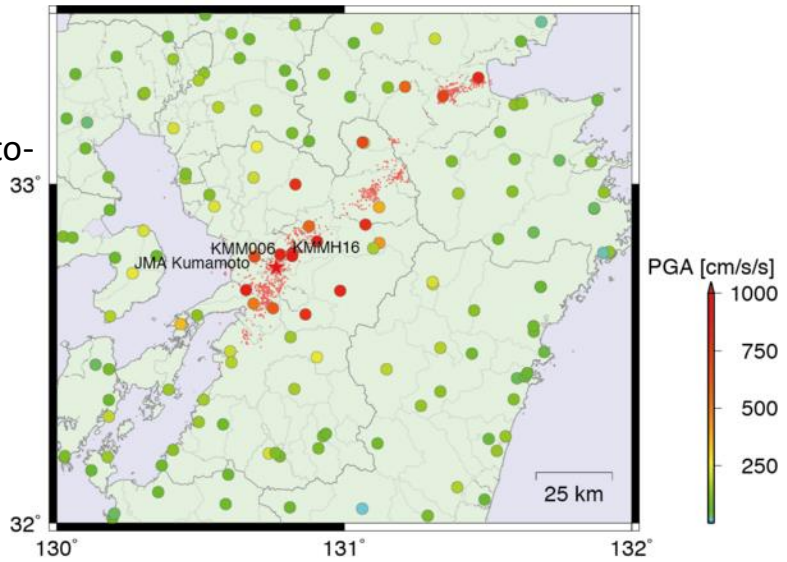


Source:
www.eri.u-tokyo.ac.jp/

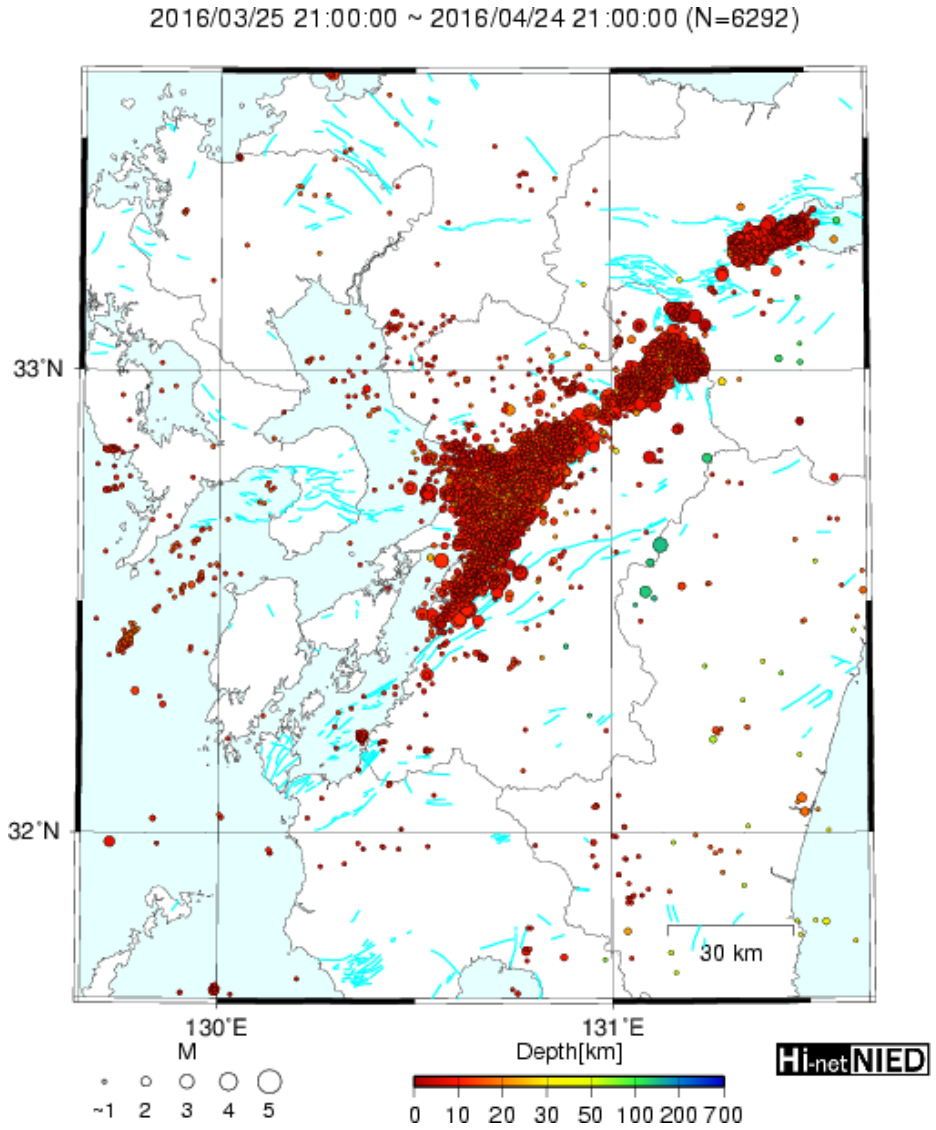




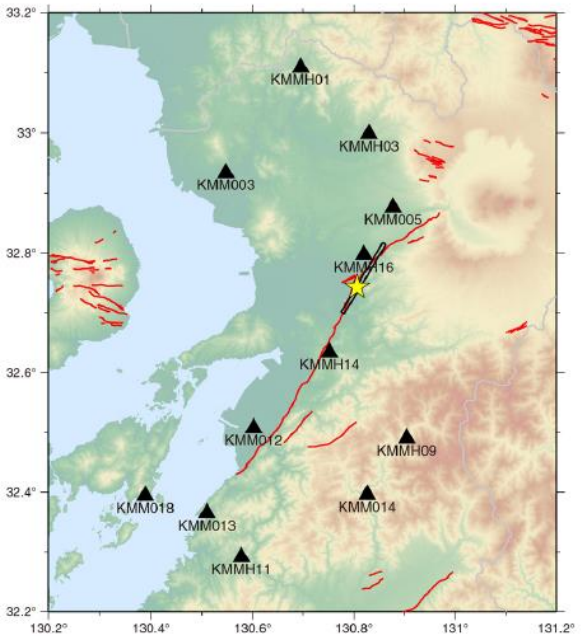
Source:
http://wwwcatfish.dpri.kyoto-u.ac.jp/



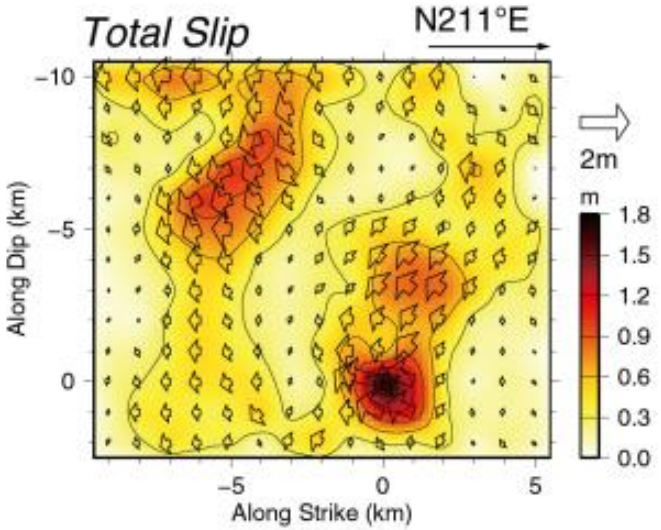
Map of foreshocks, mainshock & aftershocks

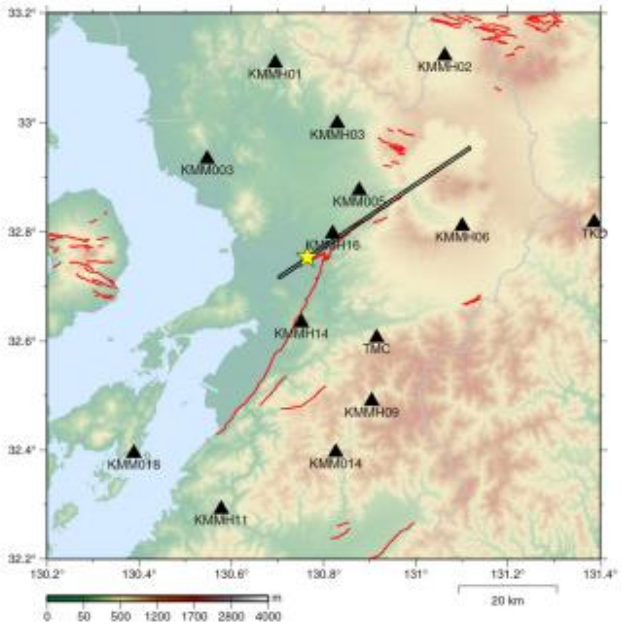


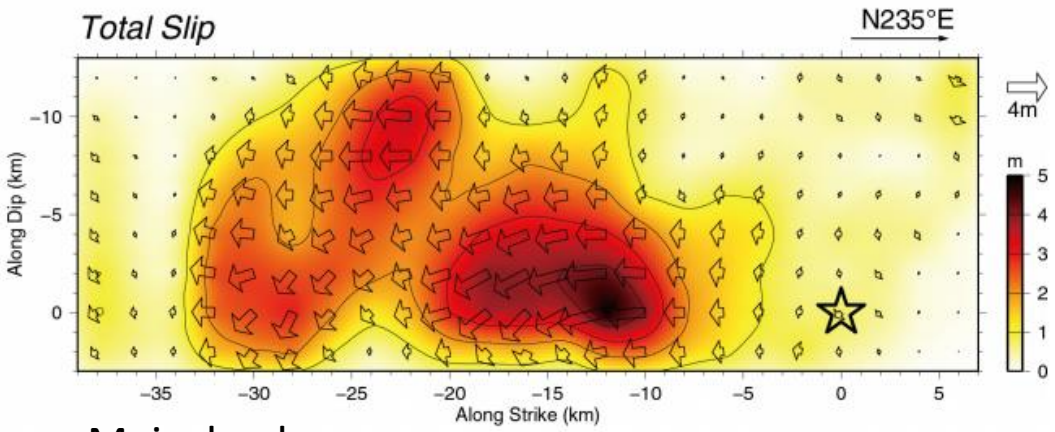
Slip Models



Foreshock



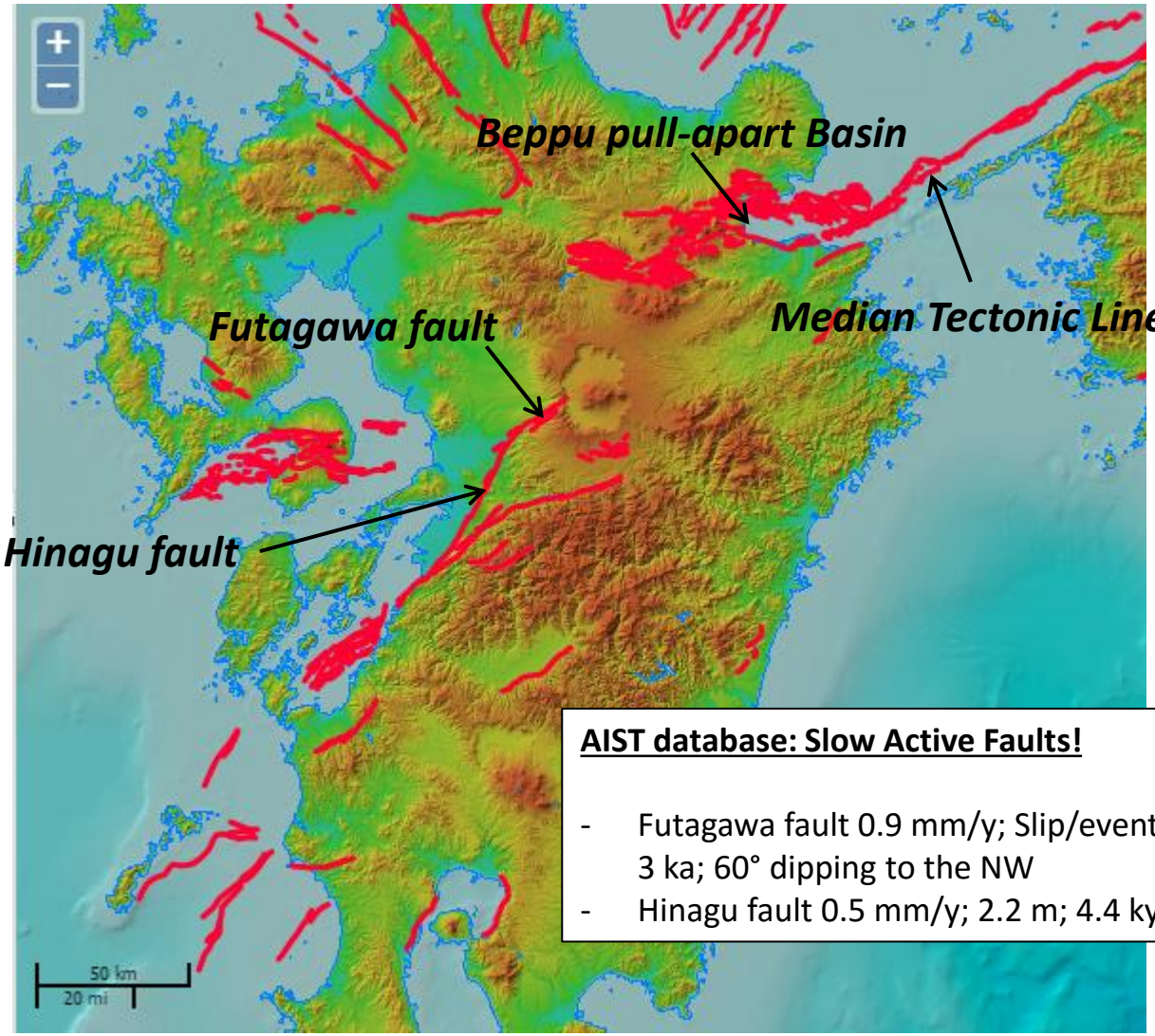




Mainshock

Credit: http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/k-asano/

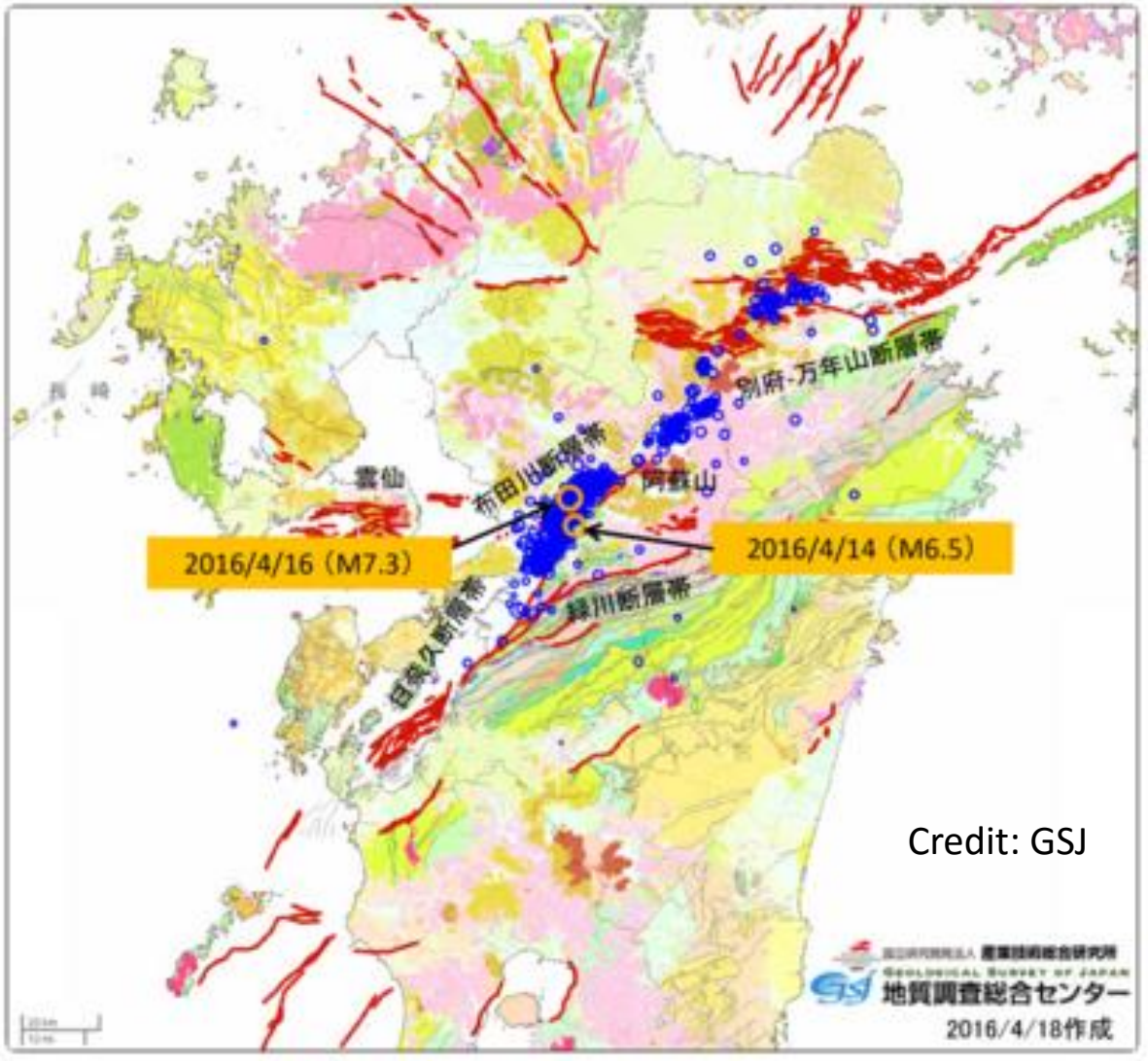
Active faults



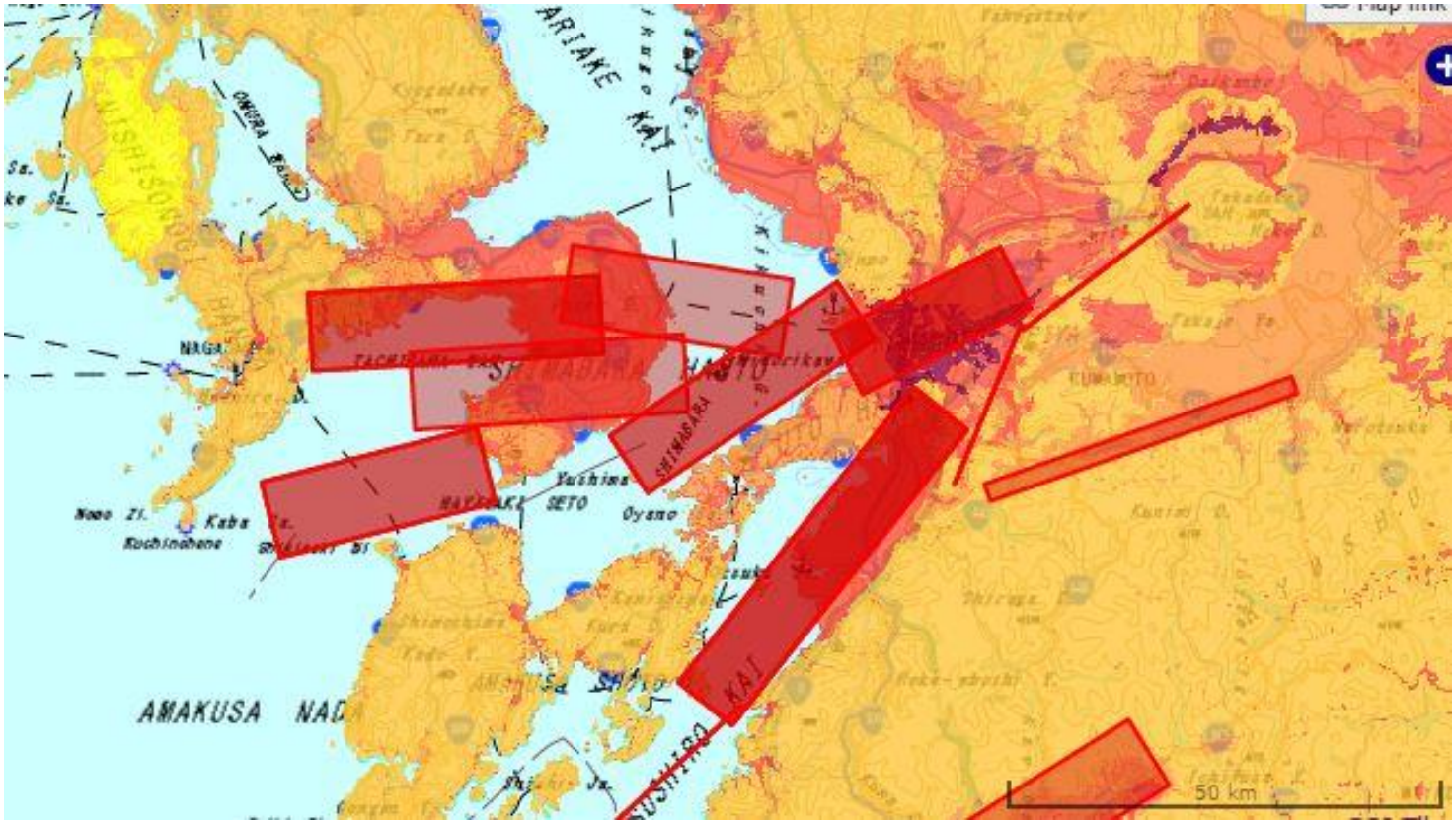
AIST database: Slow Active Faults!

- Futagawa fault 0.9 mm/y; Slip/event 2.8 with RI 3 ka; 60° dipping to the NW
- Hinagu fault 0.5 mm/y; 2.2 m; 4.4 ky

Active Fault Map and 2016 epicenters

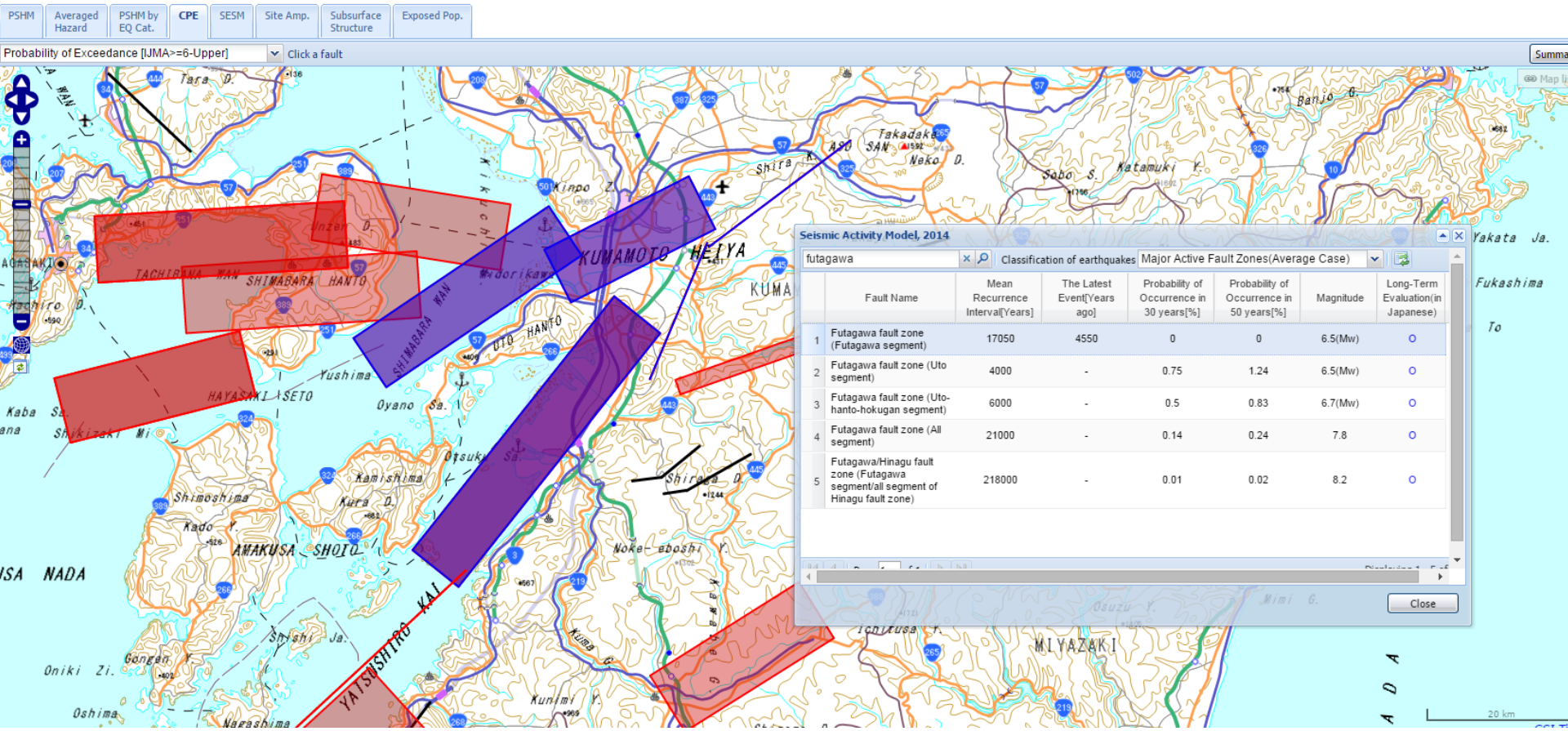


Modeled Seismogenic Sources



Credit: j-shis

A snapshot of the sources parameters for the 2016 ruptures faults

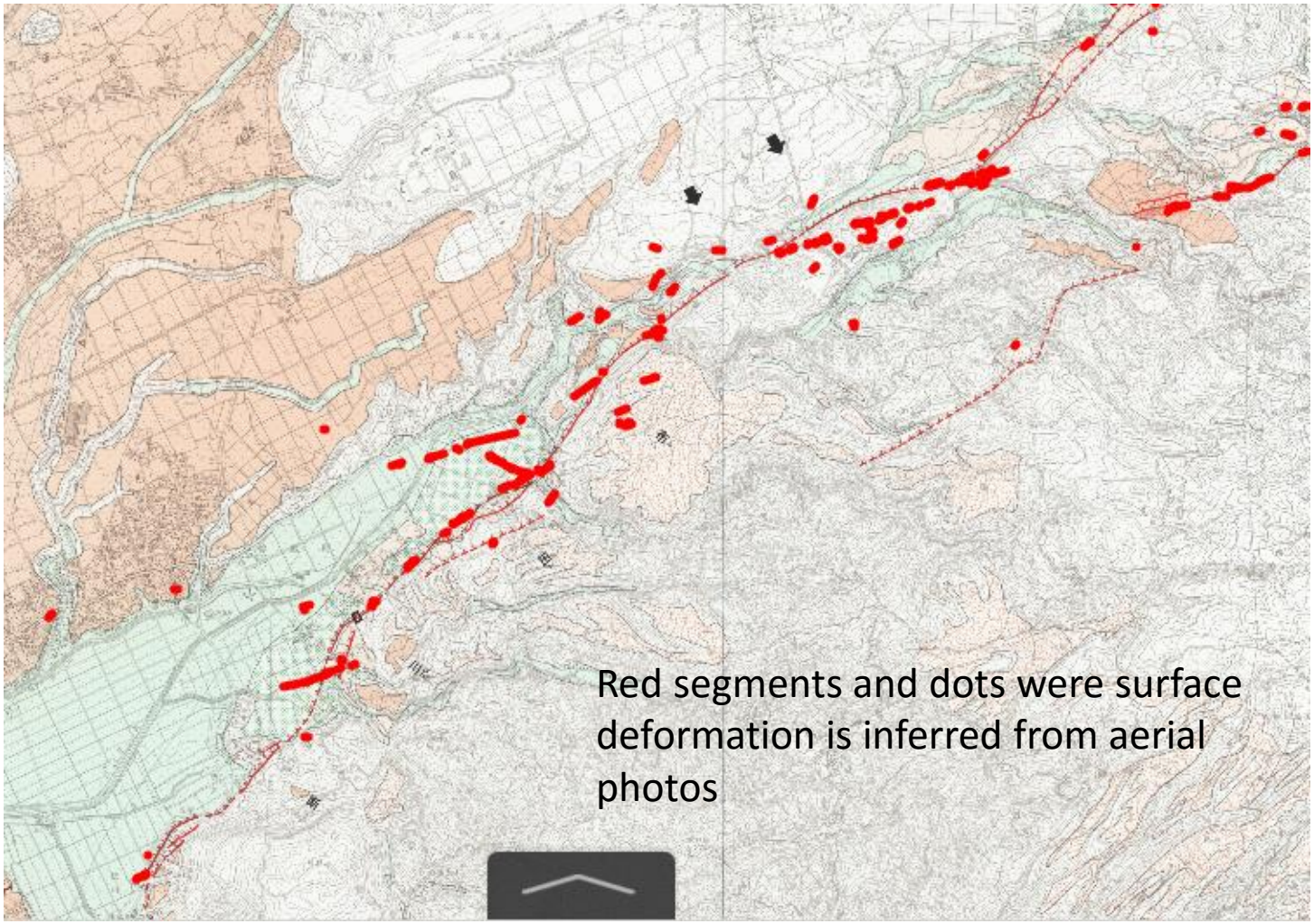


	Fault Name	Mean Recurrence Interval[Years]	The Latest Event[Years ago]	Probability of Occurrence in 30 years[%]	Probability of Occurrence in 50 years[%]	Magnitude	Long-Term Evaluation(in Japanese)
1	Futagawa fault zone (Futagawa segment)	17050	4550	0	0	6.5(Mw)	O
2	Futagawa fault zone (Uto segment)	4000	-	0.75	1.24	6.5(Mw)	O
3	Futagawa fault zone (Uto-hanto-hokugan segment)	6000	-	0.5	0.83	6.7(Mw)	O
4	Futagawa fault zone (All segment)	21000	-	0.14	0.24	7.8	O
5	Futagawa/Hinagu fault zone (Futagawa segment/all segment of Hinagu fault zone)	218000	-	0.01	0.02	8.2	O

Credit: j-shis

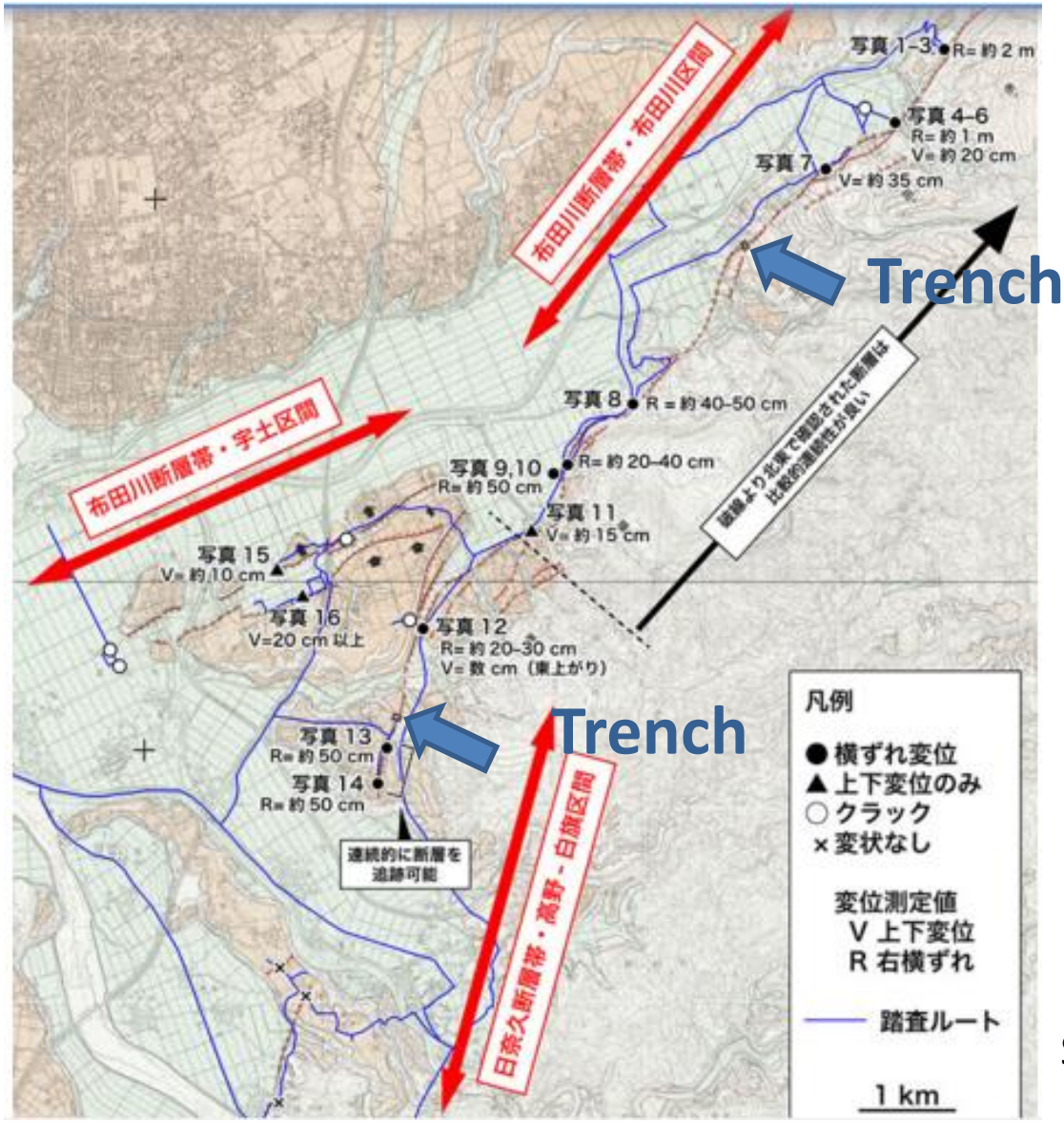
Surface Rupture

- Occurred on a mapped fault…



Source: GSI

Paleoearthquake information



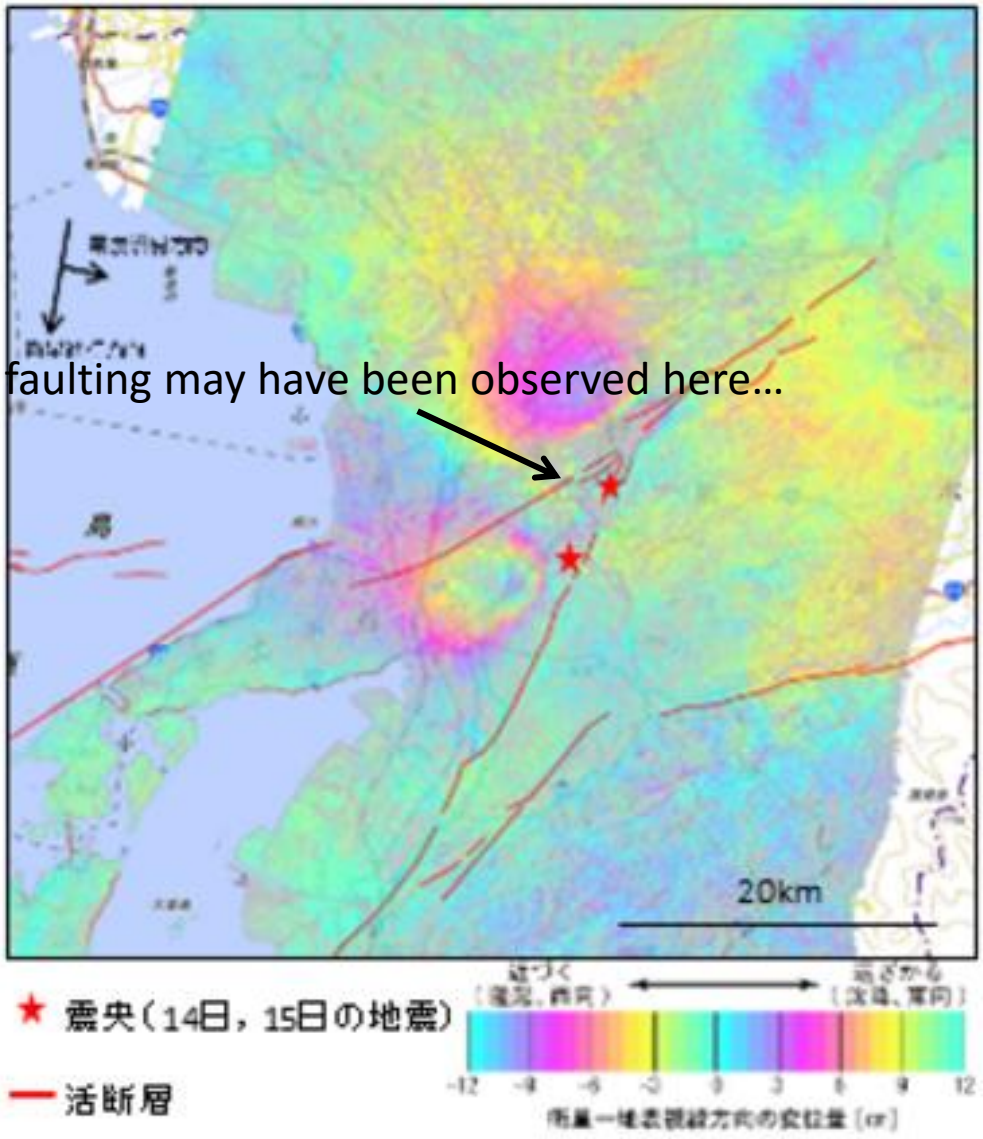
Source GSJ

AIST Database → Paleoearthquake information
Ex. Futagawa Fault

trend		60°	
dip		60 ° N	
length		24 km	
sense of faulting		R-lat.	
upthrown side		S	
slip rate		0.9 m/ky	estimate based on vertical displacement of sediments (Kumamotoken,1996)
slip per event		2.8 m	calculated based on empirical relationship between segment length and slip per event proposed by Awata (1999)
recurrence interval		3.1 ky	calculated from the slip rate and the slip per event
age of the last faulting	field data	AD -4772 to -270	estimated from the exposures at the bank of the Shirakawa River (Genshiryokuhatsuden-gijutsukiko,1997)and Tanaka trench (Yoshioka et al,2007)
	historical record		
elapsed time rate		1.44	
rupture probability in next 30 years (by BPT distribution model)		ca 6 %	
rupture probability in next 30 years (by Poisson process model)		ca 1 %	
Investigation Sites		GO	
Displacements		GO	
Faulting Events		GO	

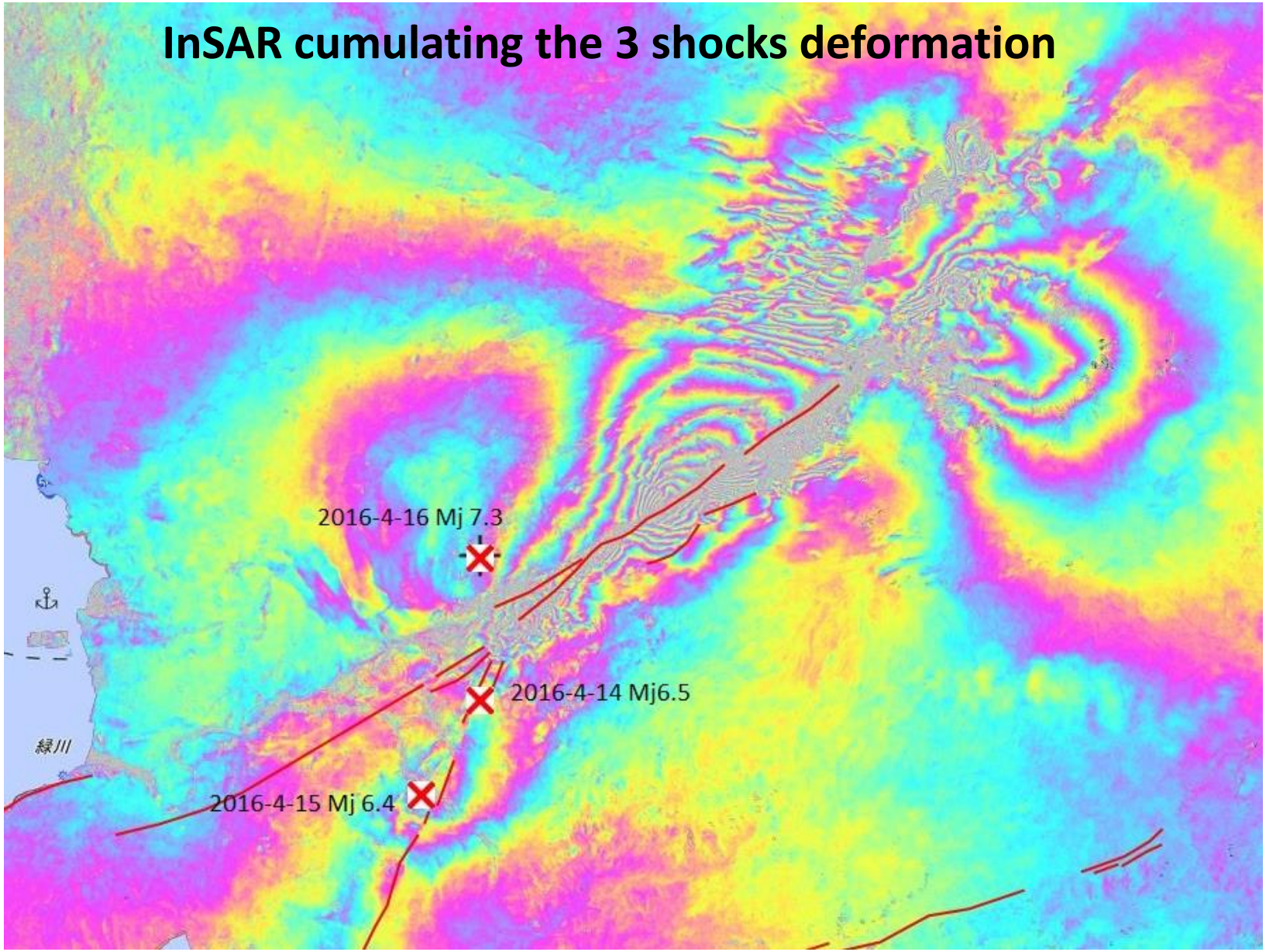
InSAR cumulating the effects of the M6 foreshocks

Foreshocks' Surface faulting may have been observed here…

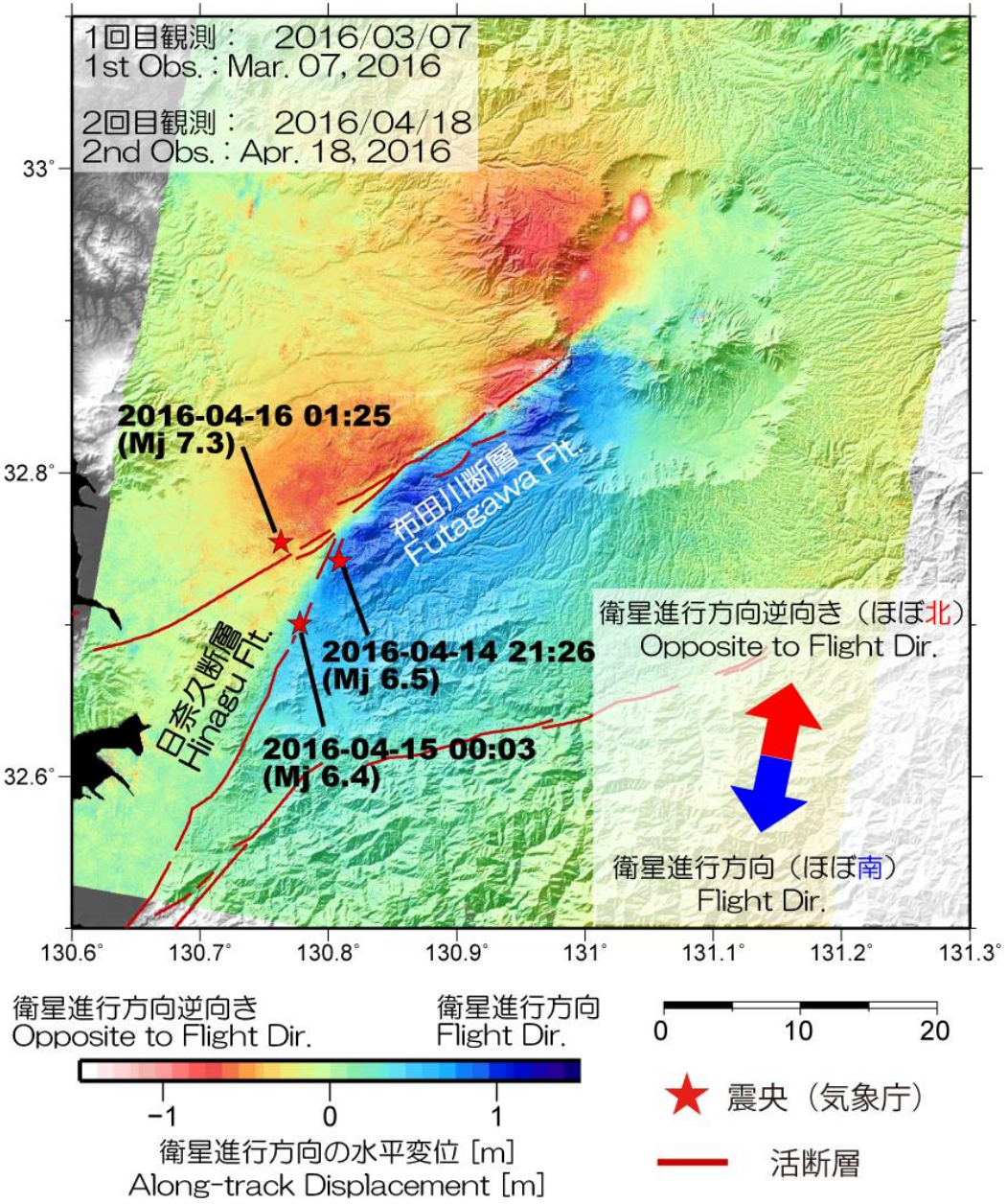


Source GSI

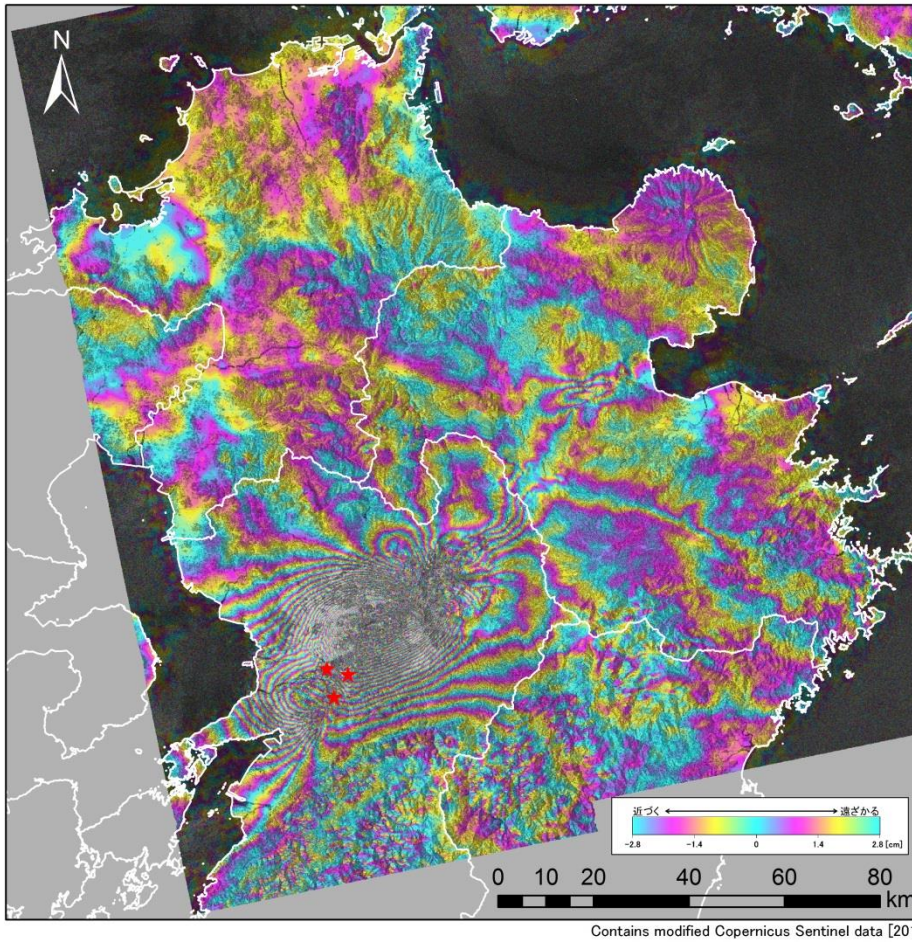
InSAR cumulating the 3 shocks deformation

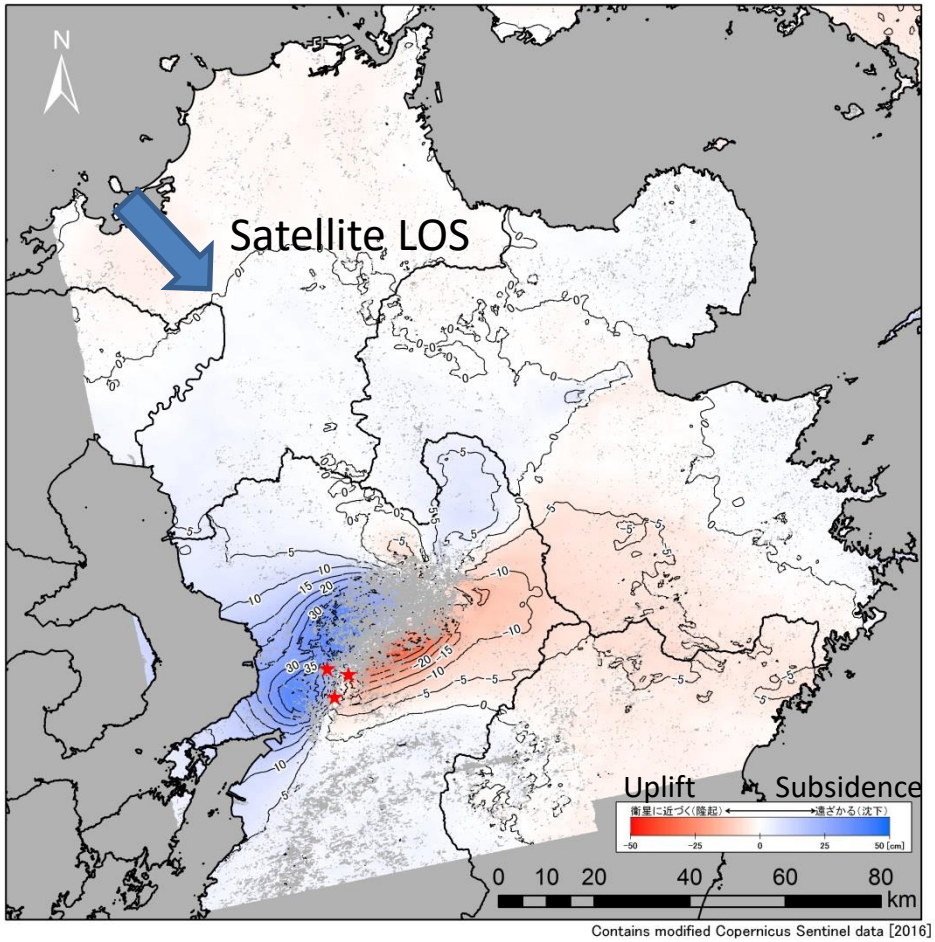


Source GSI


1回目観測： 2016/03/07
1st Obs.: Mar. 07, 2016
2回目観測： 2016/04/18
2nd Obs.: Apr. 18, 2016
2016-04-16 01:25
(Mj 7.3)
2016-04-14 21:26
(Mj 6.5)
2016-04-15 00:03
(Mj 6.4)
布田川断層
Futagawa Flt.
日奈久断層
Hinagu Flt.
衛星進行方向逆向き（ほぼ北）
Opposite to Flight Dir.
衛星進行方向（ほぼ南）
Flight Dir.
33°
32.8°
32.6°
130.6°
130.7°
130.8°
130.9°
131°
131.1°
131.2°
131.3°
衛星進行方向逆向き
Opposite to Flight Dir.
衛星進行方向
Flight Dir.
−1
0
1
衛星進行方向の水平変位 [m]
Along-track Displacement [m]
0
10
20
震央（気象庁）
活断層

Source GSI





Sentinel1 SAR interferogram and derived deformation map

http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201604_kumamoto

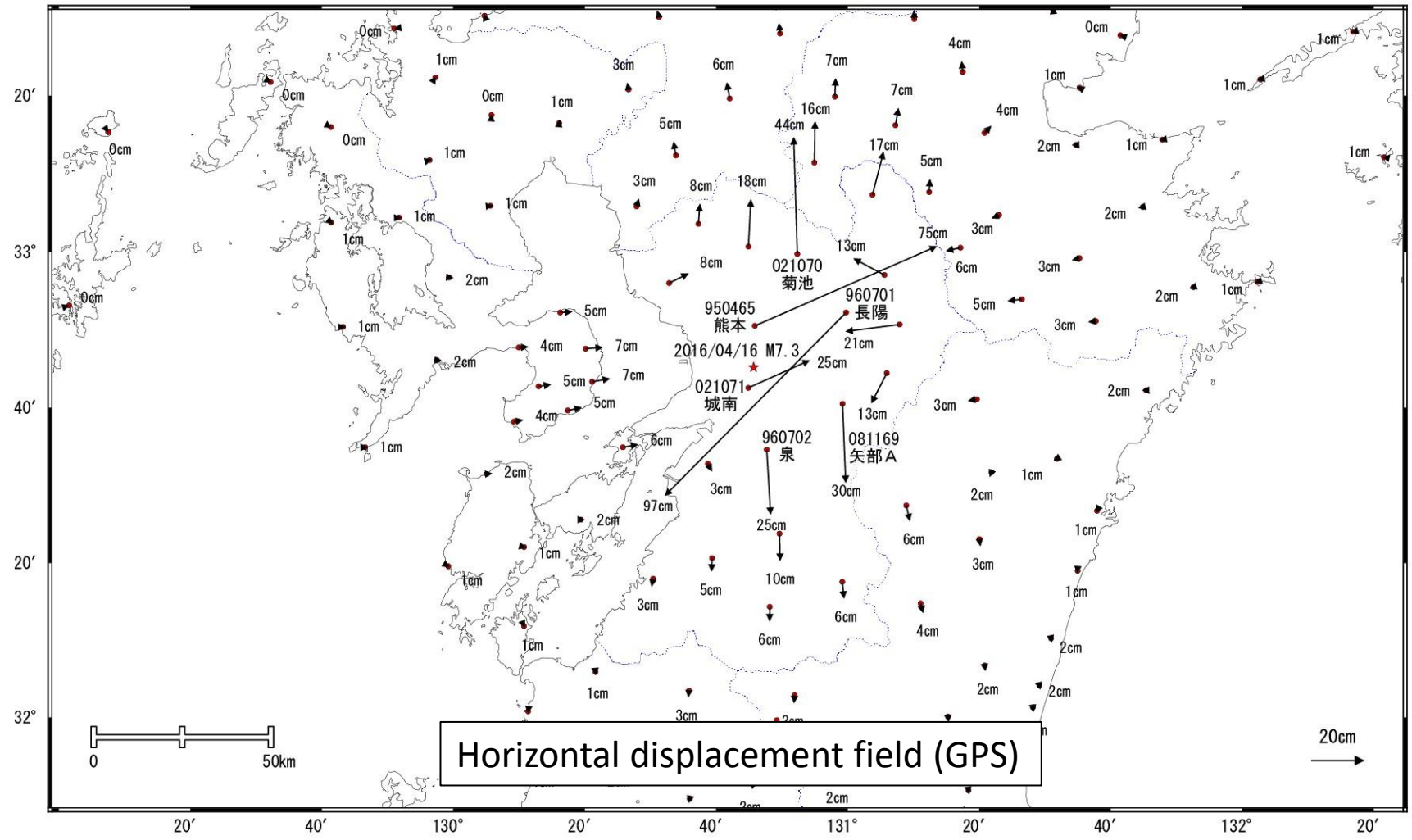
平成28年４月16日の熊本県熊本地方の地震(M7.3)(暫定値)前後の観測データ （１）

暫定

地殻変動(水平)

Source GSI

基準期間:2016/04/15 03:00～2016/04/15 23:59[Q3:迅速解]
比較期間:2016/04/16 02:00～2016/04/16 05:59[S3:迅速解]



☆ 固定局:福江(950462)

国土地理院

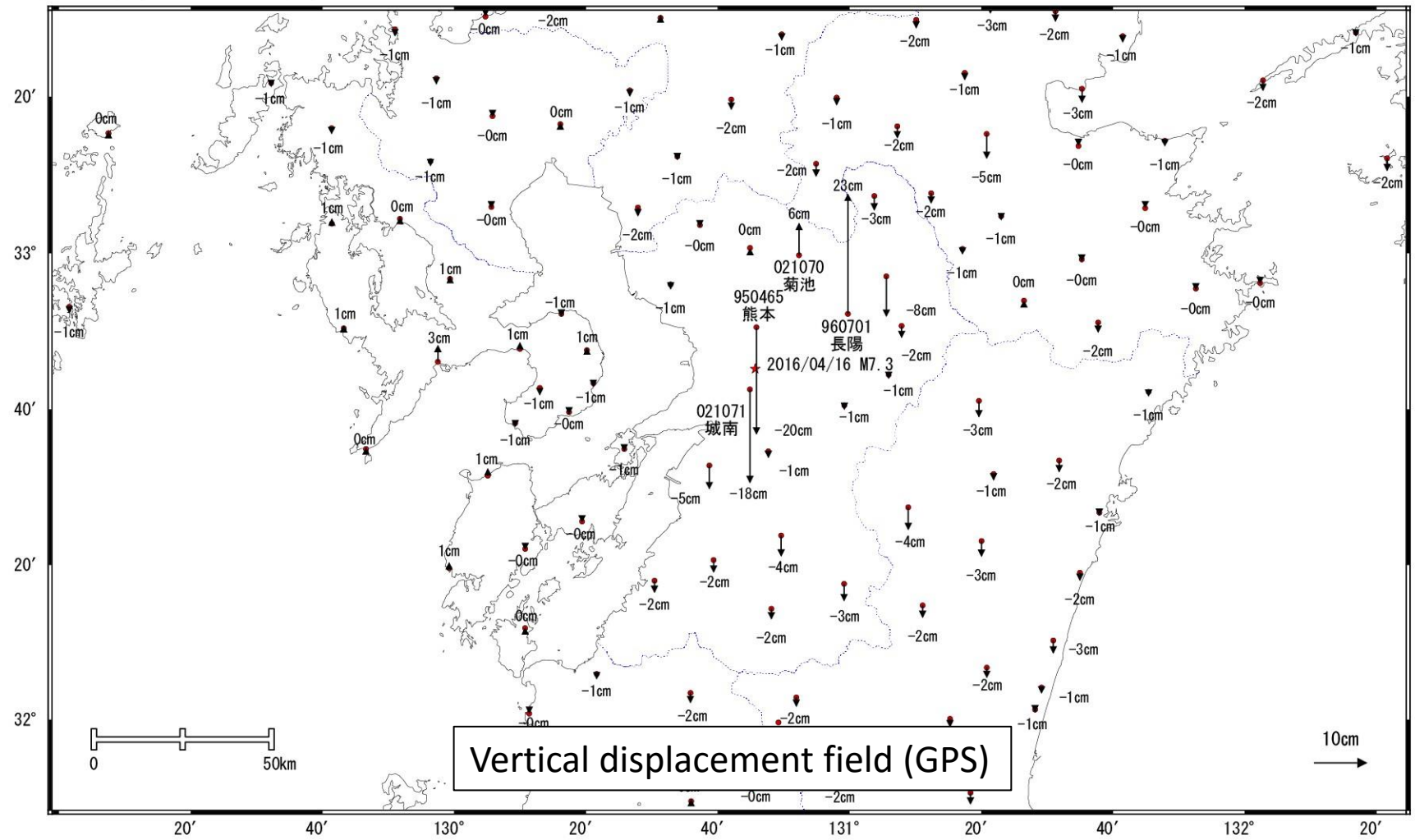
平成28年４月16日の熊本県熊本地方の地震(M7.3)(暫定値)前後の観測データ （２）

暫定

地殻変動(上下)

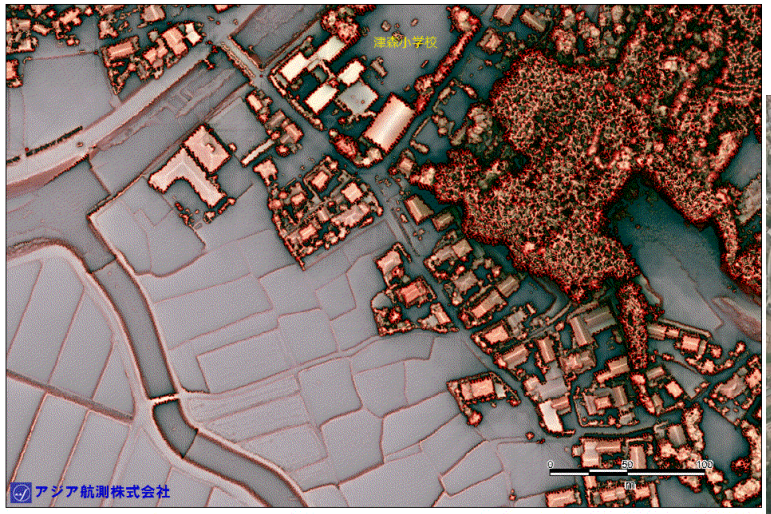
基準期間:2016/04/15 03:00～2016/04/15 23:59[Q3:迅速解]
比較期間:2016/04/16 02:00～2016/04/16 05:59[S3:迅速解]

Source GSI



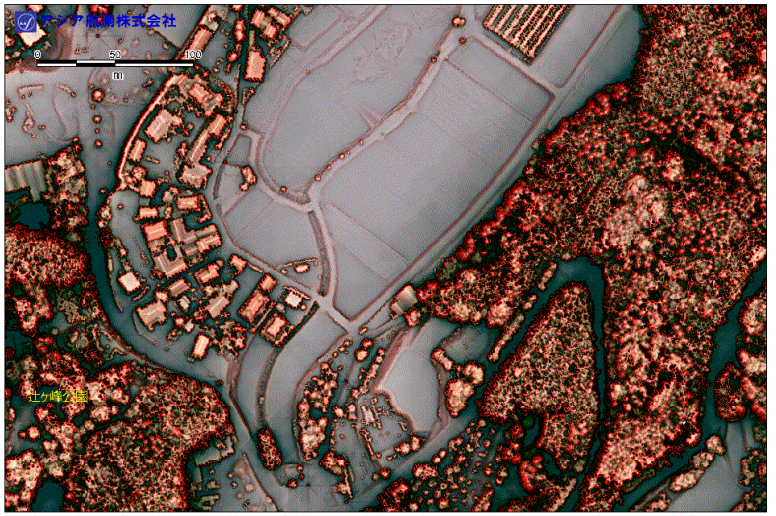
☆ 固定局:福江(950462)

国土地理院



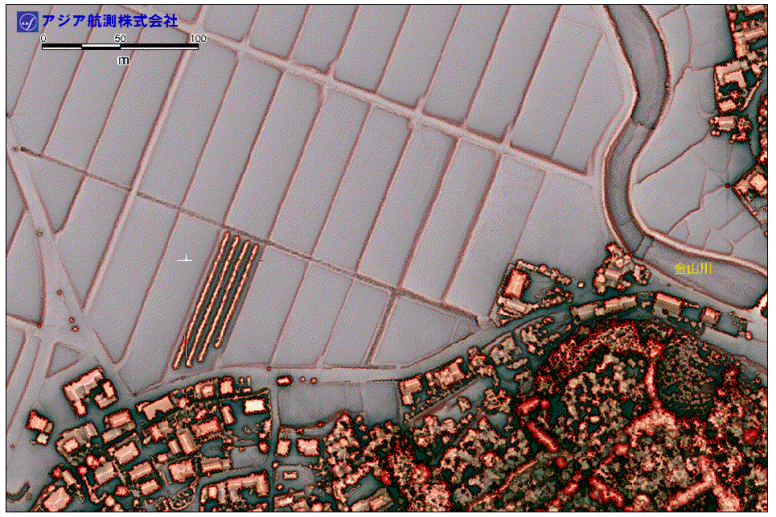
4/15計測 DSMデータによる赤色立体地図
益城町 津森小学校周辺

Animated GIF from LIDAR



4/15計測 DSMデータによる赤色立体地図
上陳地区周辺

http://saigai.gsi.go.jp/1/H28_kumamotojishin/nishihara0416/photo/qv/0269-qv.jpg
http://www.ajiko.co.jp/saigai/kumamoto_2016_04_2/gif_a.gif



4/15計測 DSMデータによる赤色立体地図
下陳地区周辺

Video Footages available on GSI website (Futagawa Fault)
https://www.youtube.com/watch?v=umKIDwxkuYg&feature=youtu.be


【国土地理院】　益城町下陳周辺の断層
1:17 / 4:30
HD

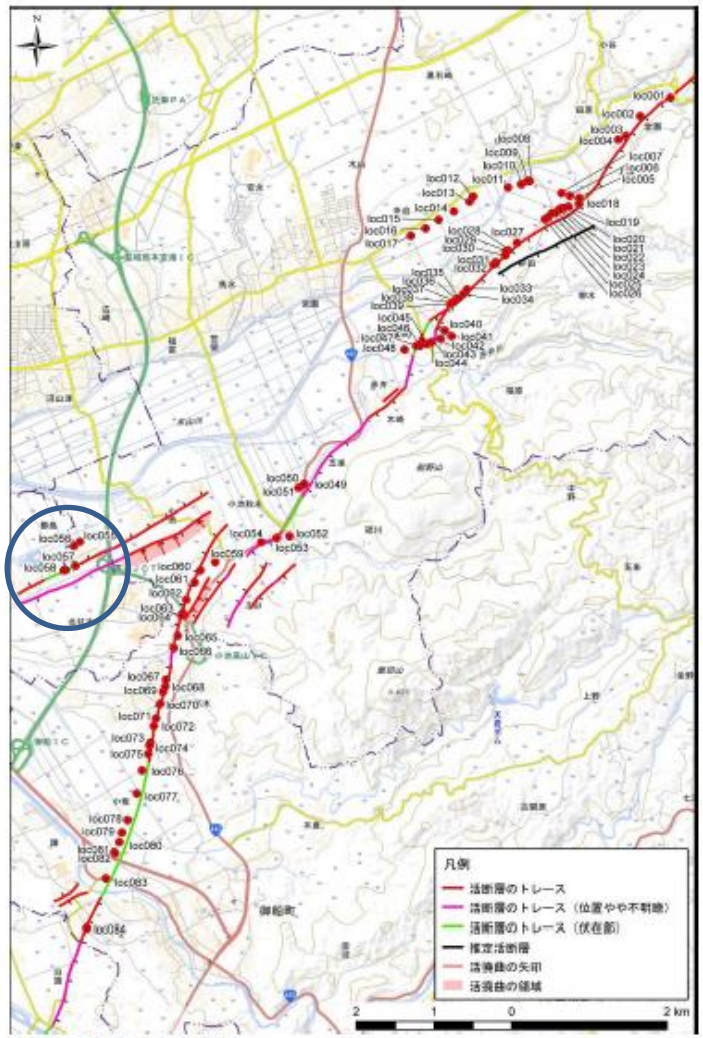

【国土地理院】　益城町下陳周辺の断層
2:07 / 4:30
HD

Field survey

地点３（堂園）
右横ずれ 約２m

Was there Rupture during foreshock?

The PASCO team reports evidences of fractures with displacement before the mainshock
http://www.pasco.co.jp/disaster_info/160415/images/20160418-02.pdf



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」, 東京大学出版会の「活断層シェープファイル」を使用した（製品シリアル番号：DAFM2041）

現地調査位置図

loc056

熊本県上益城郡
益城町櫛島（嘉島 JCT 北西）

アスファルト舗装および圃場に現れたクラック
高度差はほとんどない

loc057

熊本県上益城郡
嘉島町井寺（嘉島 JCT 西）

農道に現れたクラック
高度差はほとんどない

写真は 16 日未明の地震前である 15 日に撮影

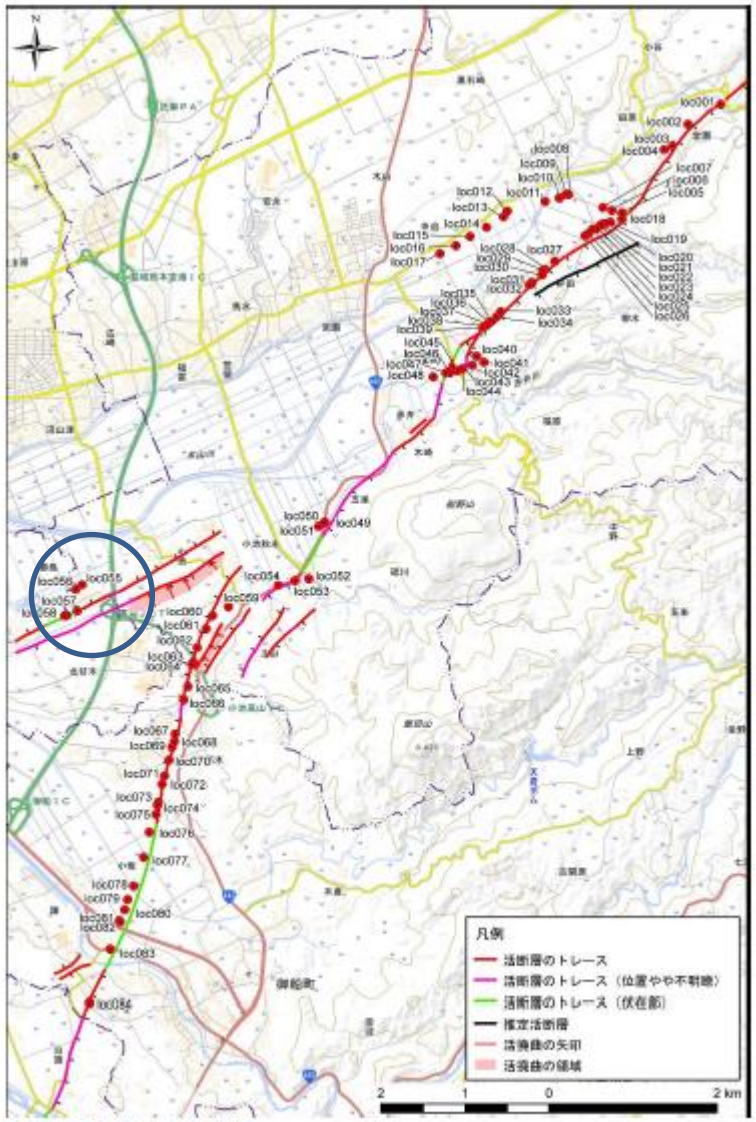
loc057

熊本県上益城郡
嘉島町井寺（嘉島 JCT 西）

水田に現れたクラック
高度差はほとんどない

写真は 16 日未明の地震前である 15 日に撮影

http://www.pasco.co.jp/disaster_info/160415/images/20160418-02.pdf



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出版会の「活断層シェープファイル」を使用した（製品シリアル番号:DAFM2041）

loc058

熊本県上益城郡
嘉島町井寺（嘉島 JCT 西）

アスファルト舗装、水田に現れたクラック
右横ずれを示す

写真は 16 日未明の地震前である 15 日に撮影

loc058

熊本県上益城郡
嘉島町井寺（嘉島 JCT 西）

写真は 16 日未明の地震後である 16 日撮影

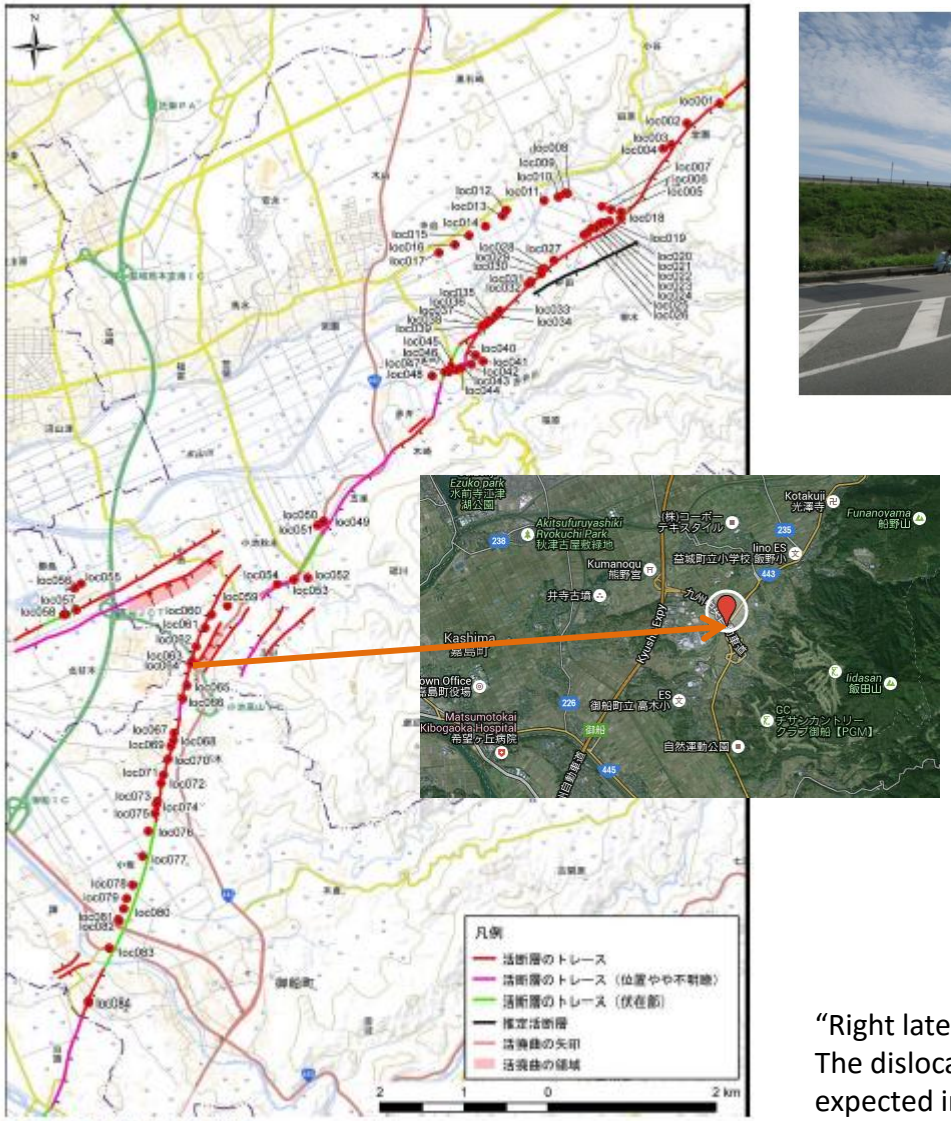
クラックやずれが拡大している

loc058

熊本県上益城郡
嘉島町井寺（嘉島 JCT 西）

写真は 16 日未明の地震後である 16 日撮影
電柱が上写真位置
クラックやずれが拡大している

http://wwwcatfish.dpri.kyoto-u.ac.jp/~goto/eq/20160414/report_en.html

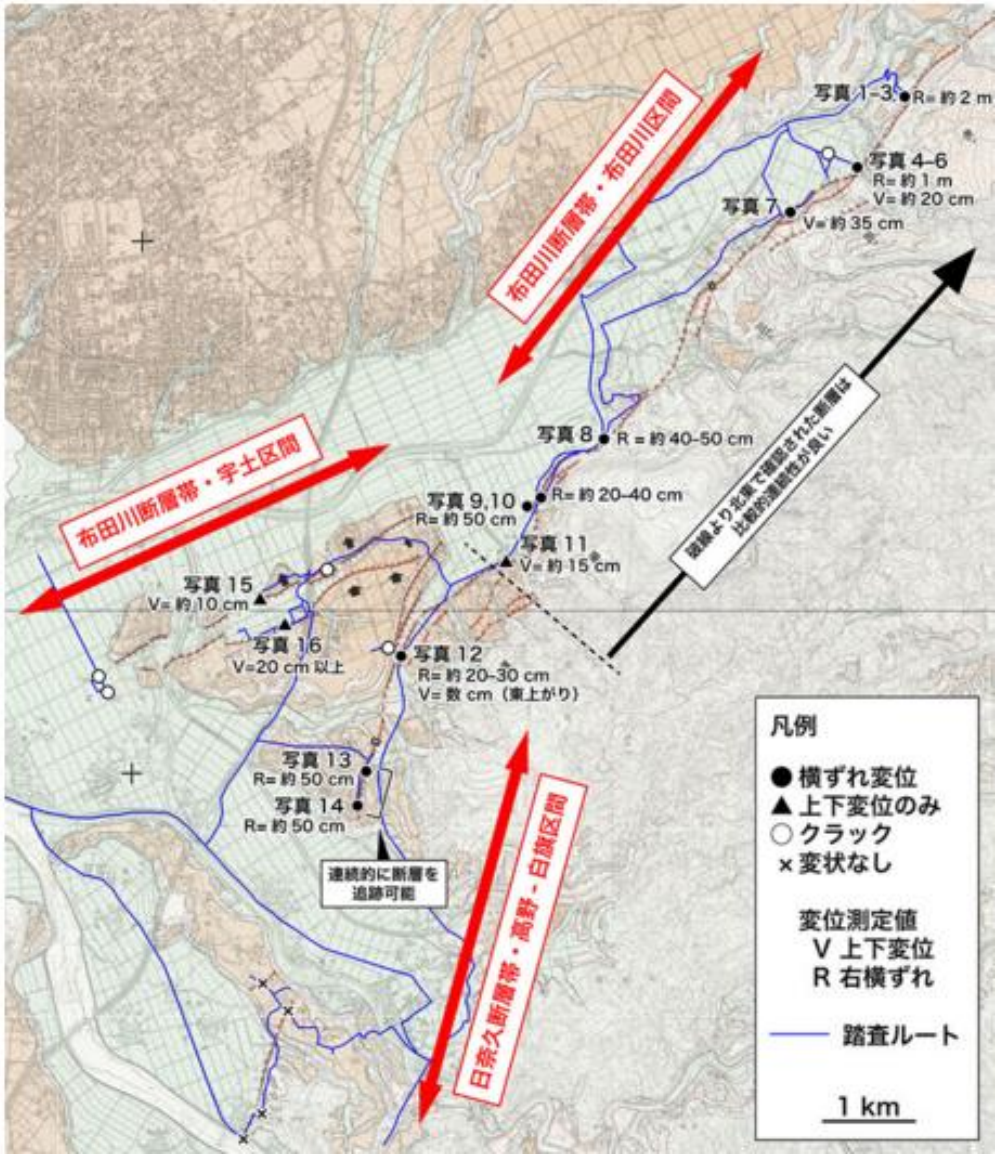


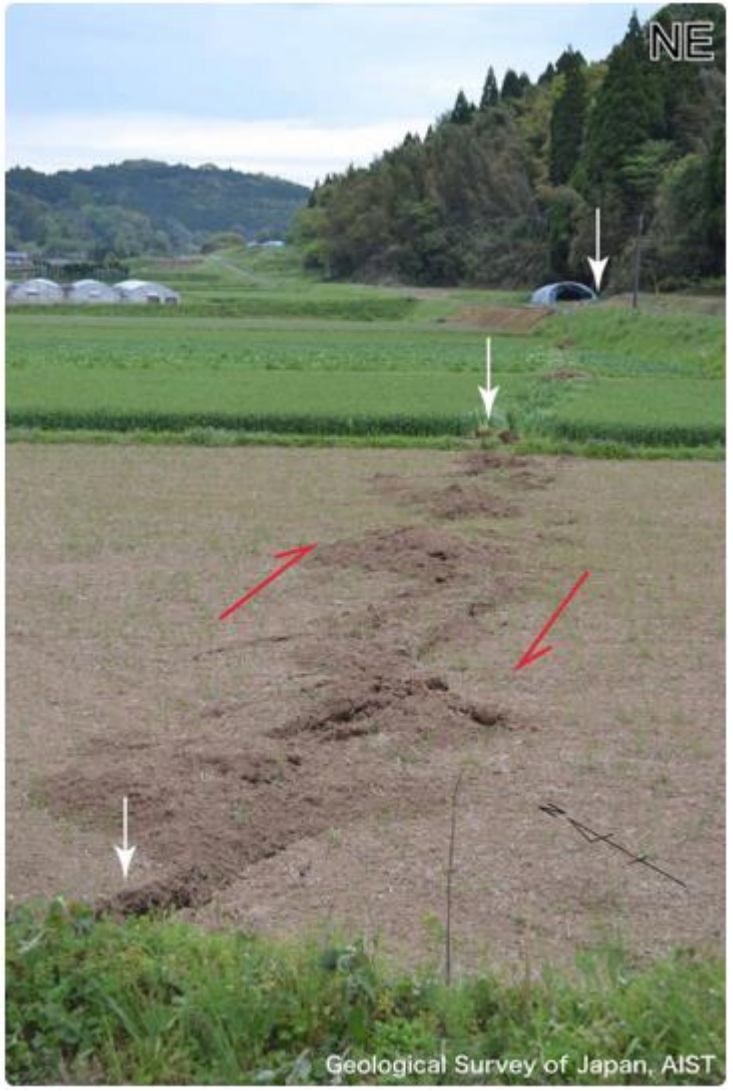
・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出版会の「活断層シェープファイル」を使用した（製品シリアル番号:DAFM2041）

“Right lateral dislocations cross the road way. The gap was approximately 30cm. The dislocation may be a part of surface faulting. This is because no landslides are expected in the area, the crack azimuth agrees with the fault strike, and its location is almost on the fault surface. **According to the neighbor, the dislocation slightly appeared after the 1st event, and it grows to the current size after the 2nd event.**”

Rupture during mainshock

https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html

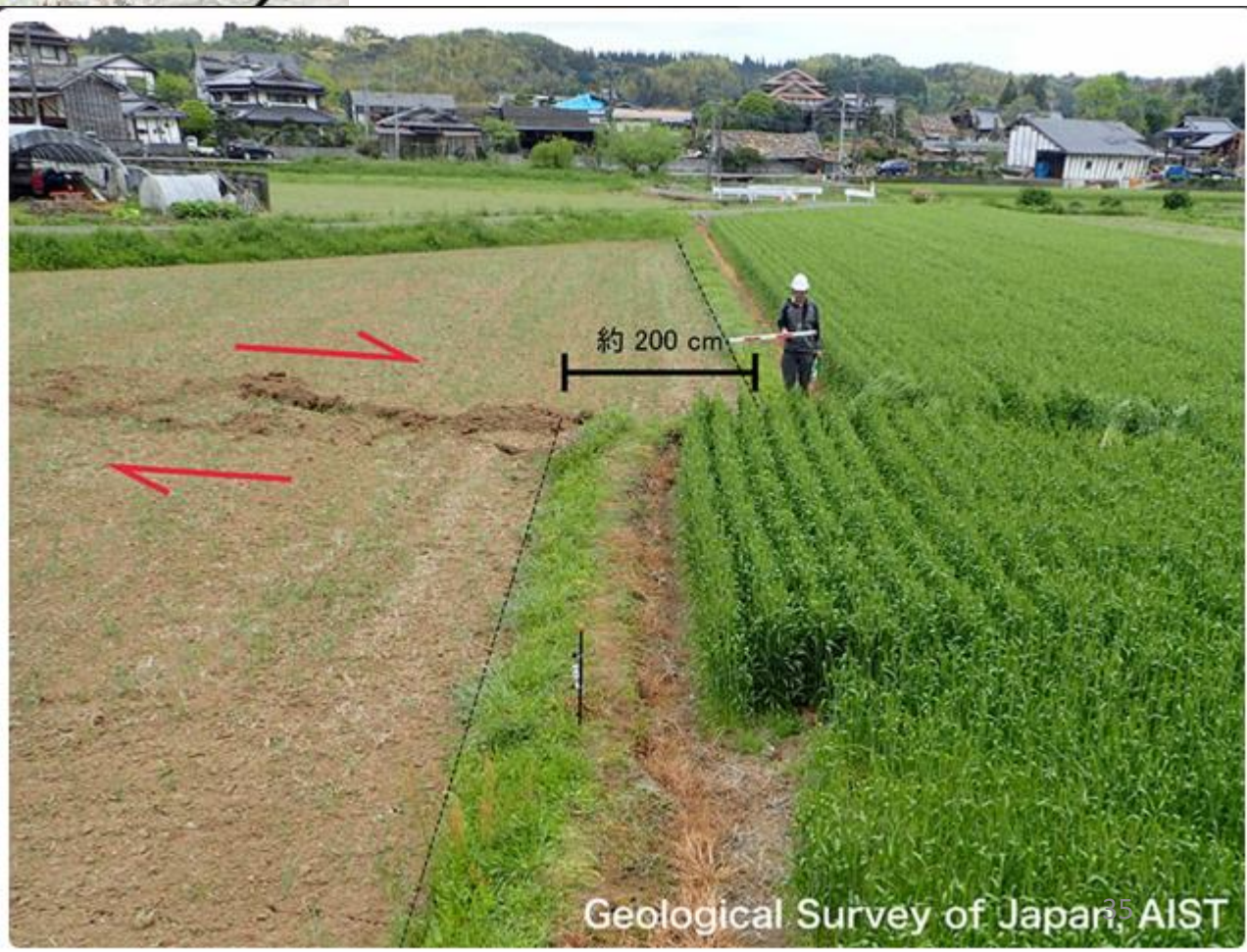




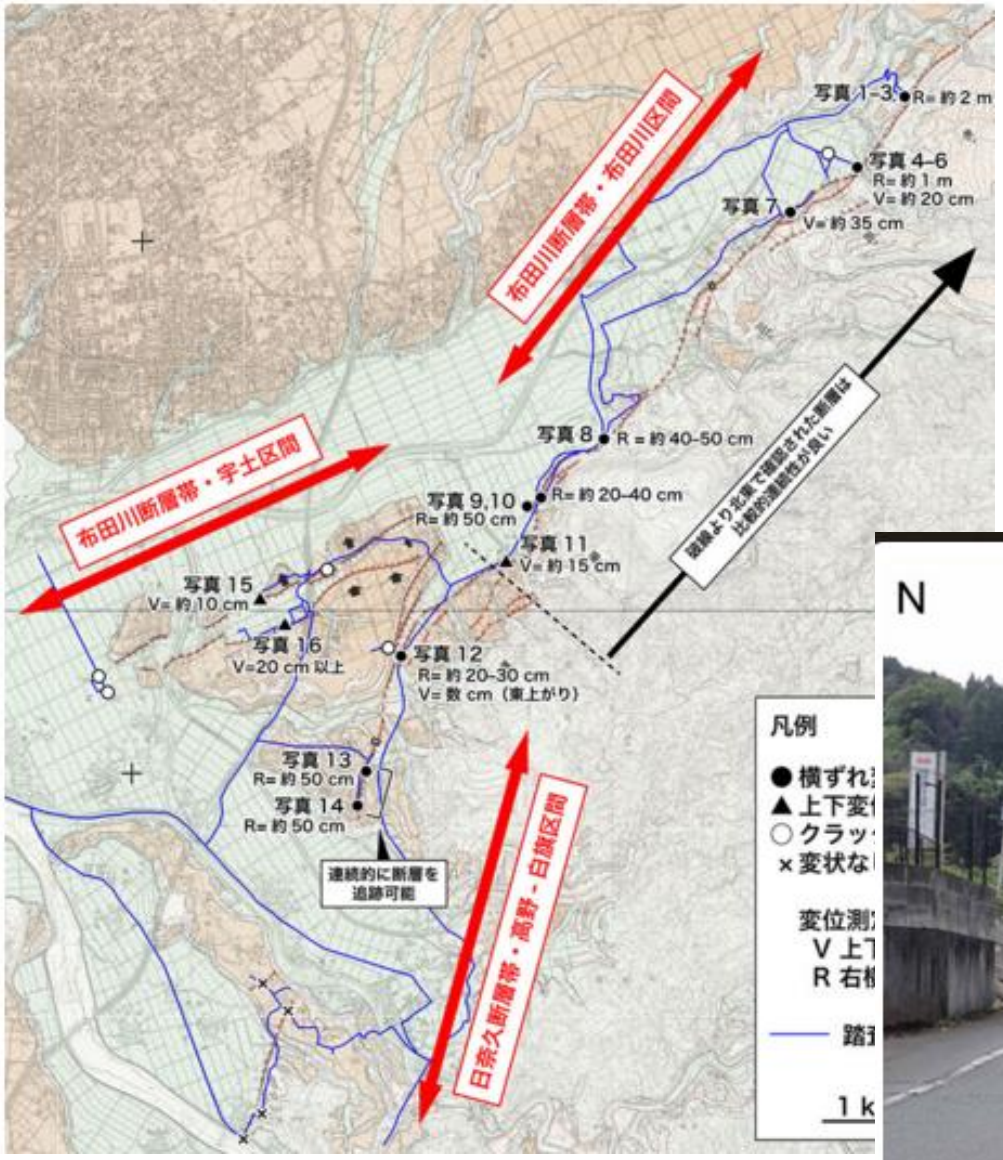
Mall track caused by the right-lateral displacement and displacement seen in the fields of Birds Nest village. Picture taken toward the northeast direction. Fault passes through the right of the blue vinyl house, leading to the mountains. White arrows fault position, the red arrows indicate the displacement sense. (2016 April 16 shooting)

https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html

Right-lateral displacement seen in the fields of Birds Nest village. Picture taken toward the northwest direction. Right-lateral displacement amount of time relative to the footpath is about 200 cm. (2016 April 16 shooting)

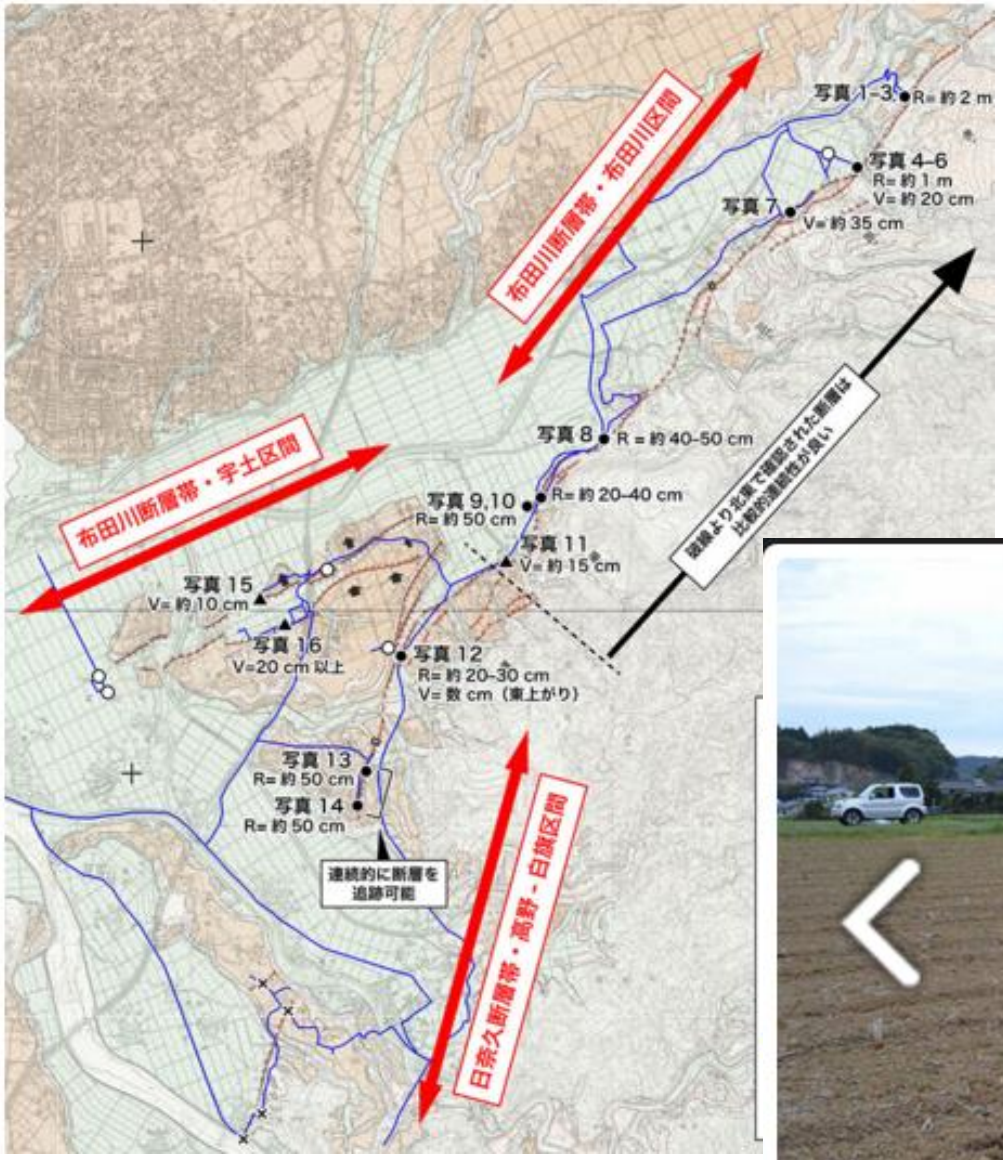


https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html

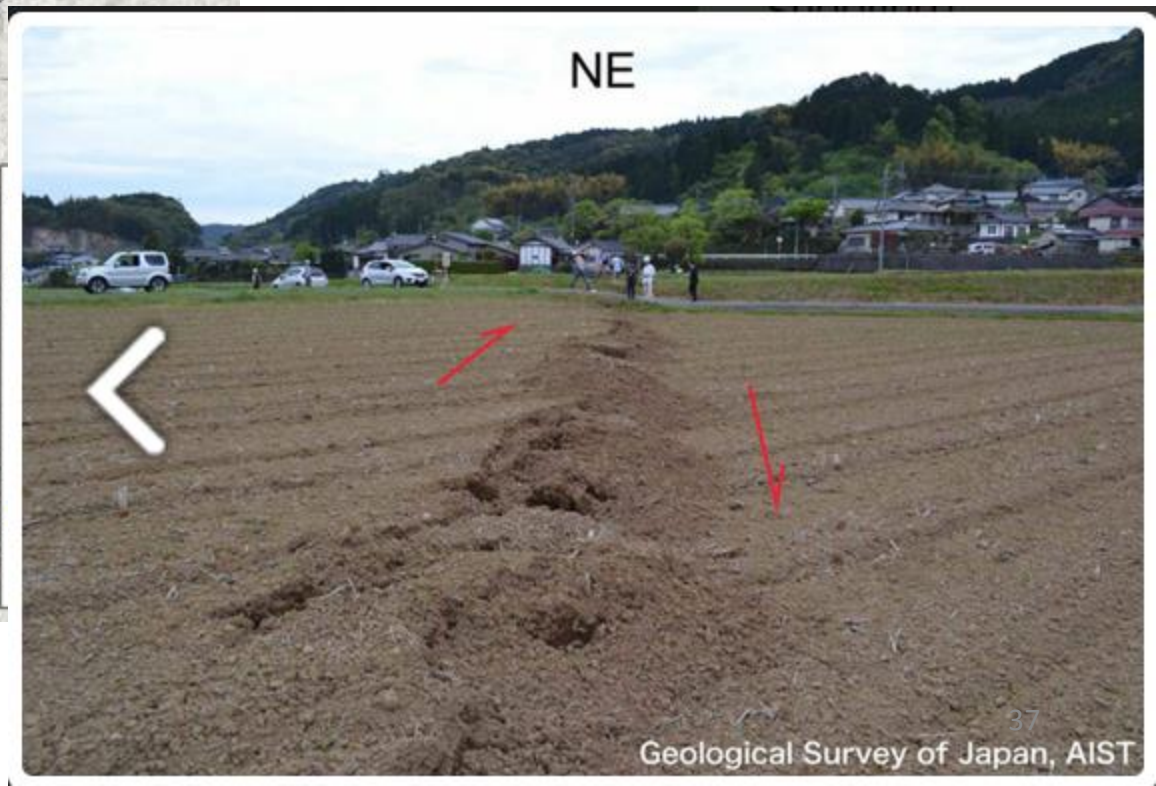


Shortening deformation seen in the pavement of the photo 3 Kamijin settlements. Picture taken toward the southeast direction. Vertical displacement weight of about 40 cm. Fault continues to N70E direction. (2016 April 16 shooting)

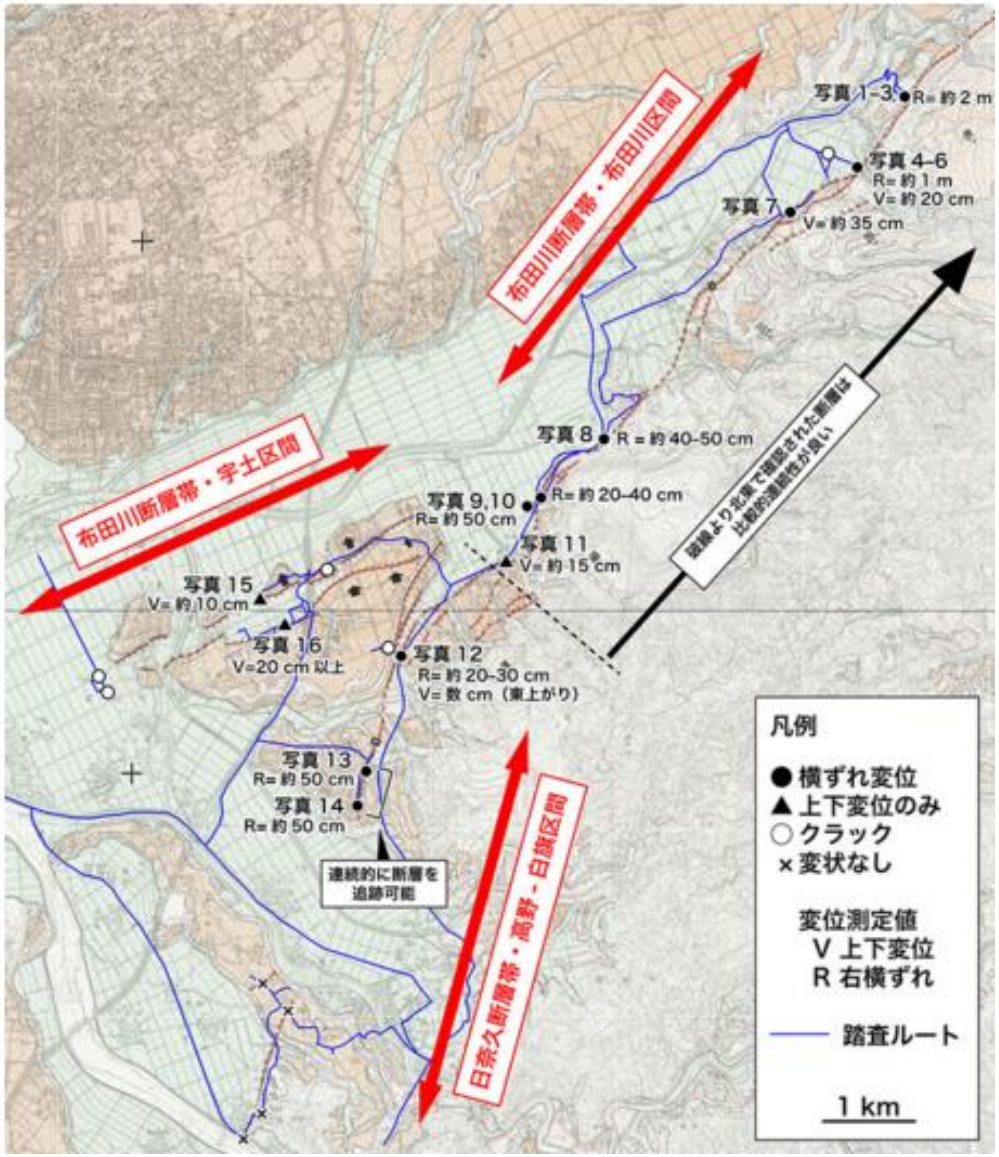
https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html



Right-lateral displacement and mall track seen in photo 4 Shimojin village west. Picture taken toward the northeast direction. Right-lateral displacement weight of about 100 cm, vertical displacement weight of about 20 cm. (2016 April 16 shooting)

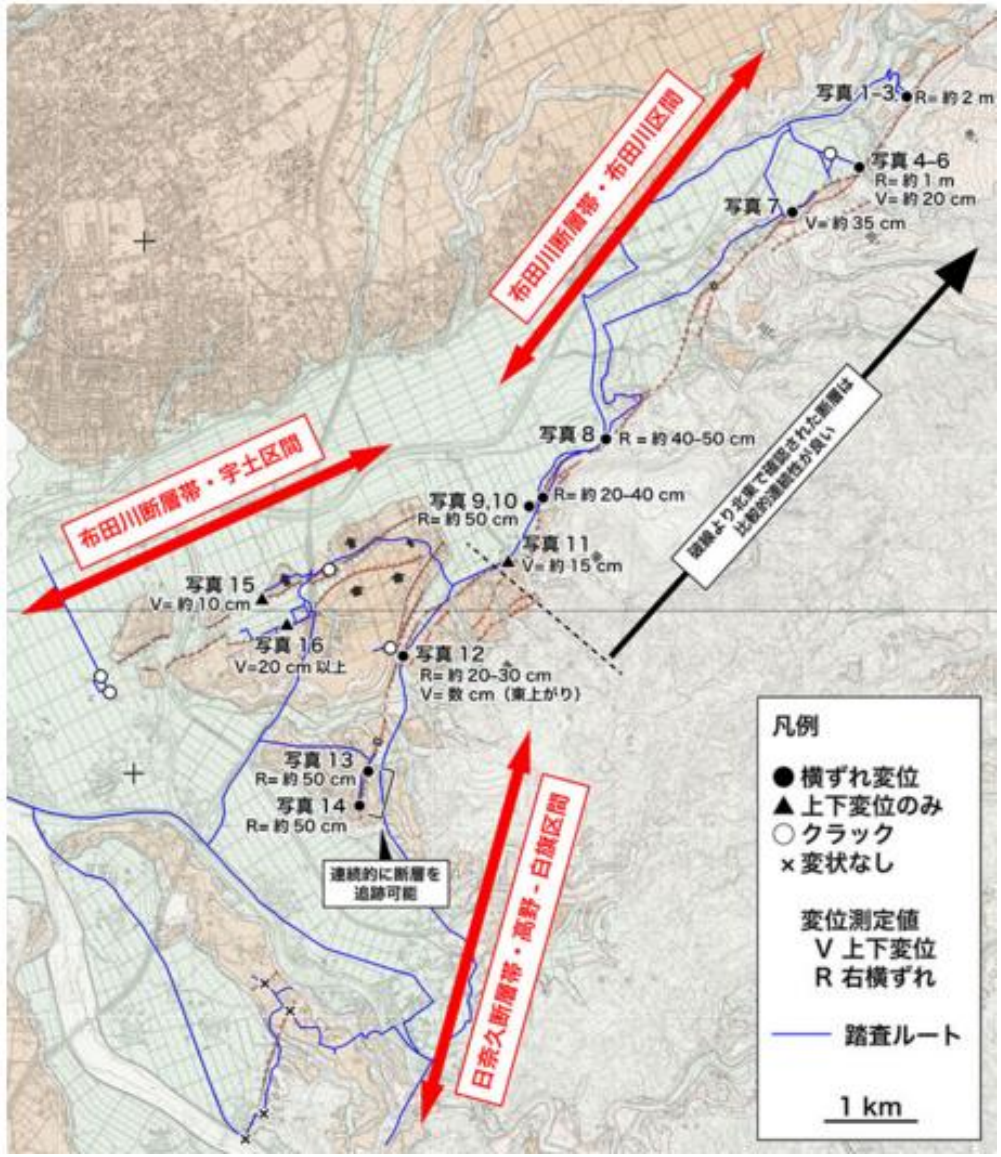


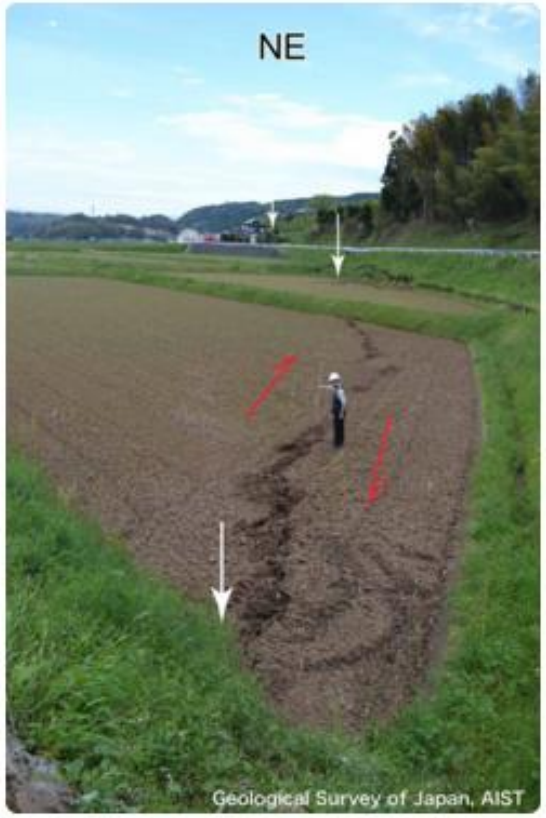
https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html



6- Flexure deformation of the paddy field with a left-lateral strike-slip component of N70W strike seen in Shimojin village west. Picture taken toward the west-northwest direction. Vertical displacement weight of about 15 ~ 20 cm, left-lateral strike-slip displacement amount is about 20 cm. (2016 April 16 shooting)

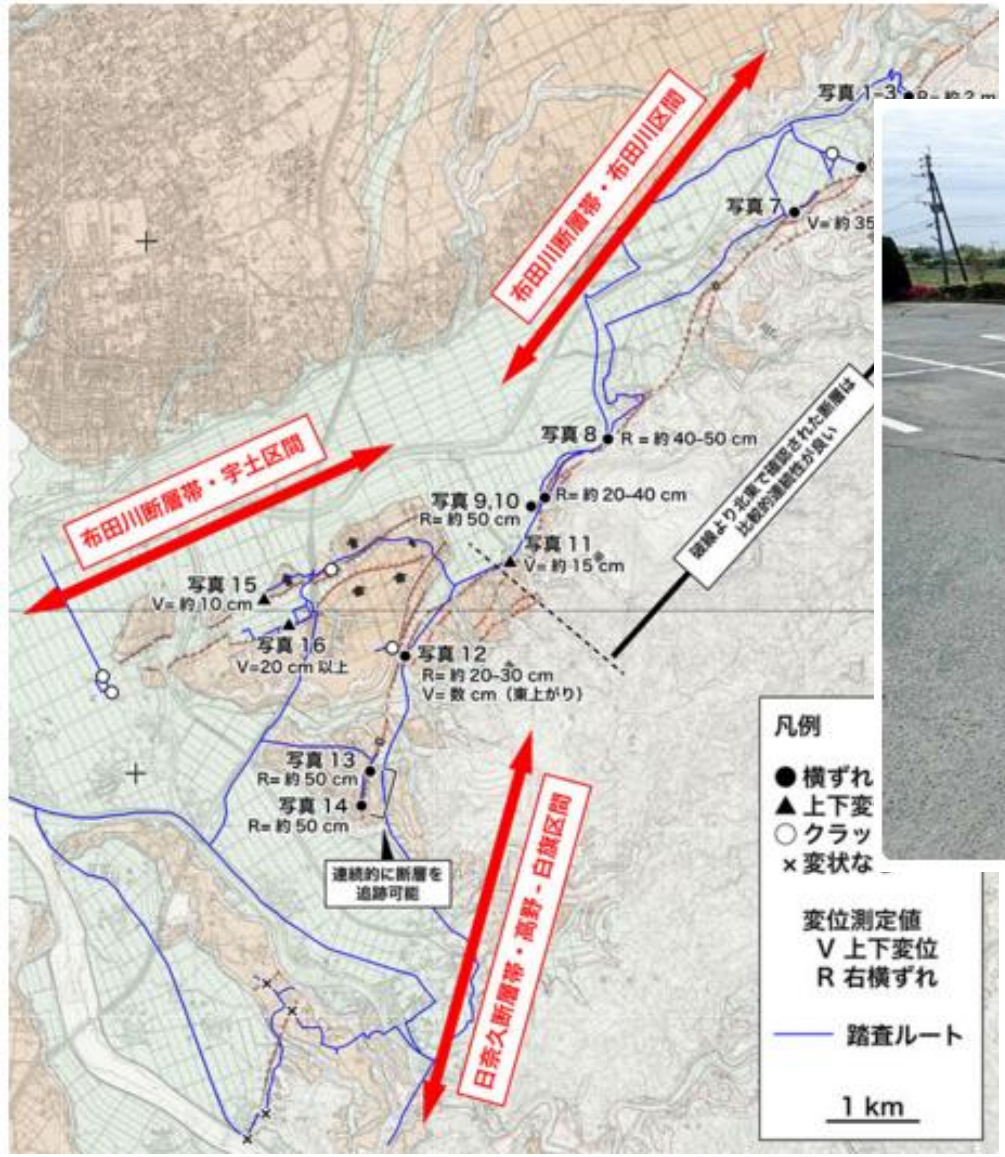
https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html





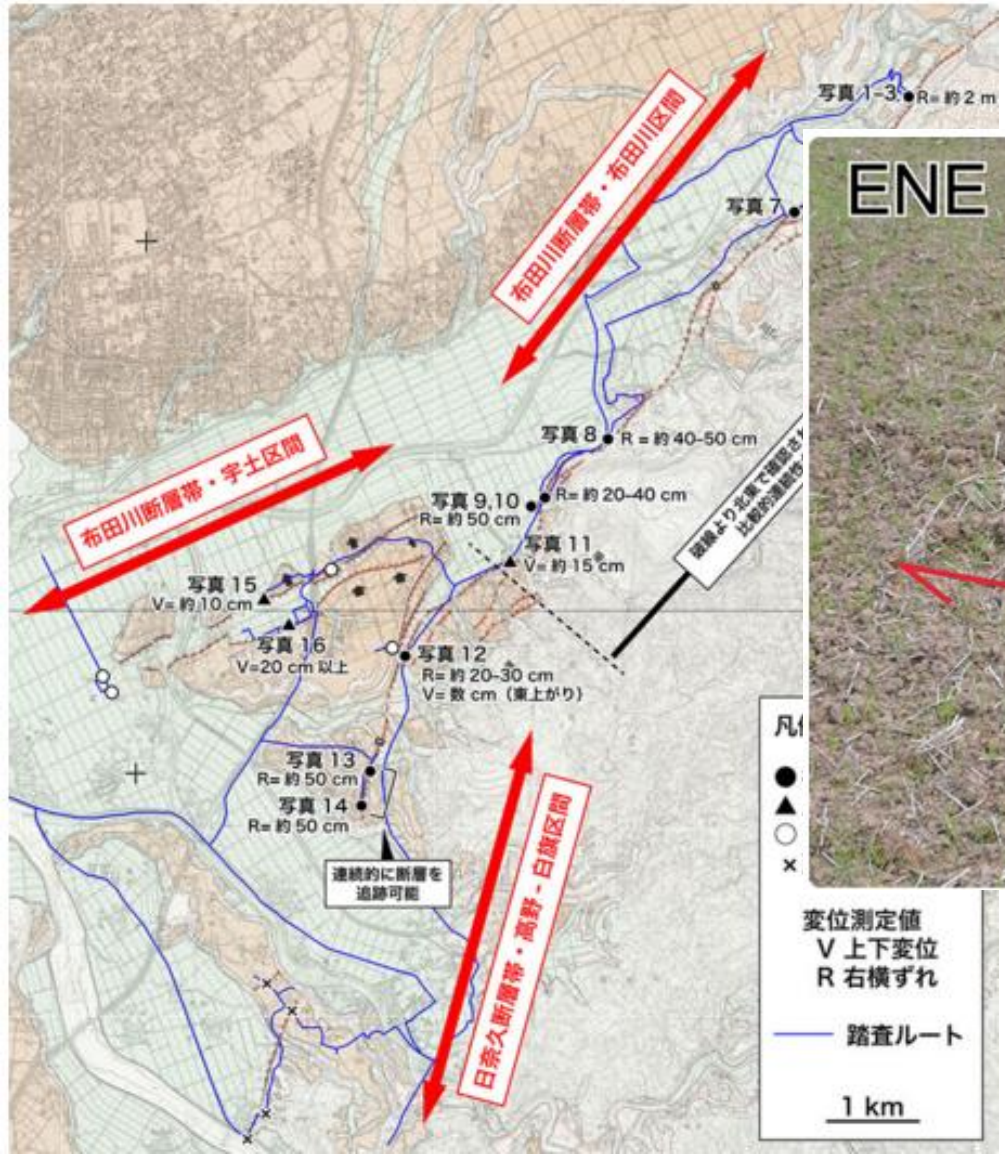
7- Right-lateral displacement seen in photo 7 Mitake village southwest of paddy. Picture taken toward the northeast direction. Fault passes through the road from the distortion part of the guardrail, through the right of the back of the house, continuing to photograph 5. (2016 April 16 shooting)

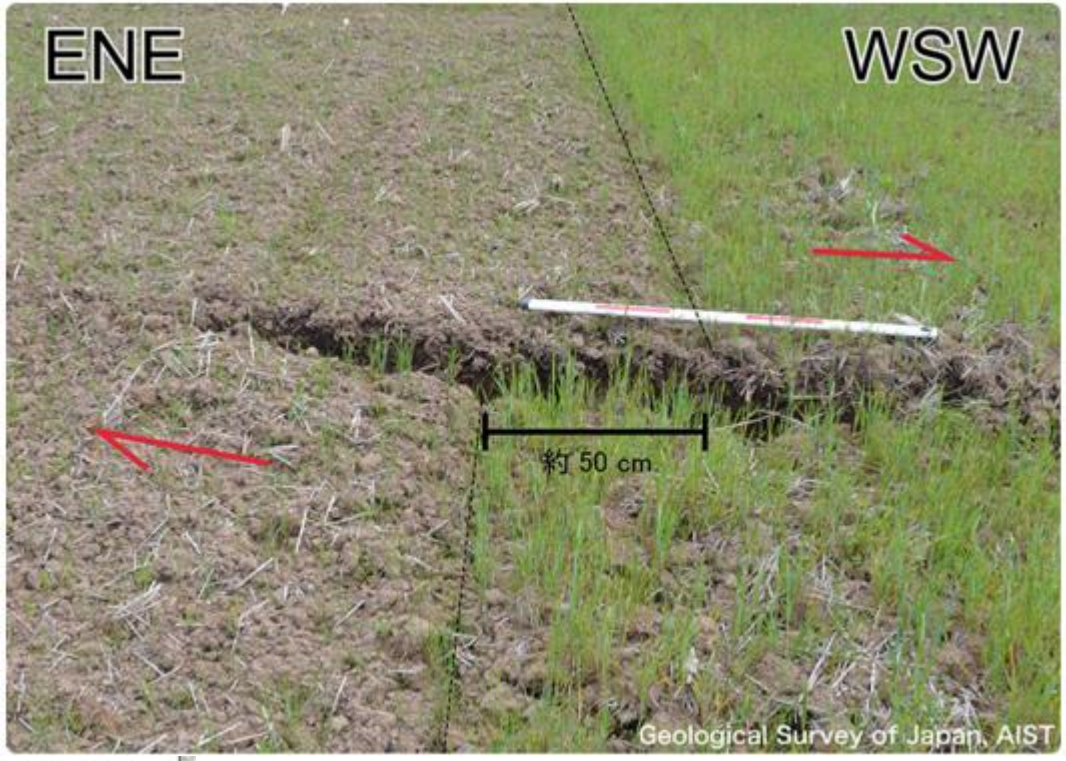
https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html



8-Akai village "mashiki townspeople rest of the house," parking lot to see is right-lateral displacement. Picture taken toward the northwest direction. Right-lateral displacement amount is about 40 ~ 50 cm. (2016 April 16 shooting)

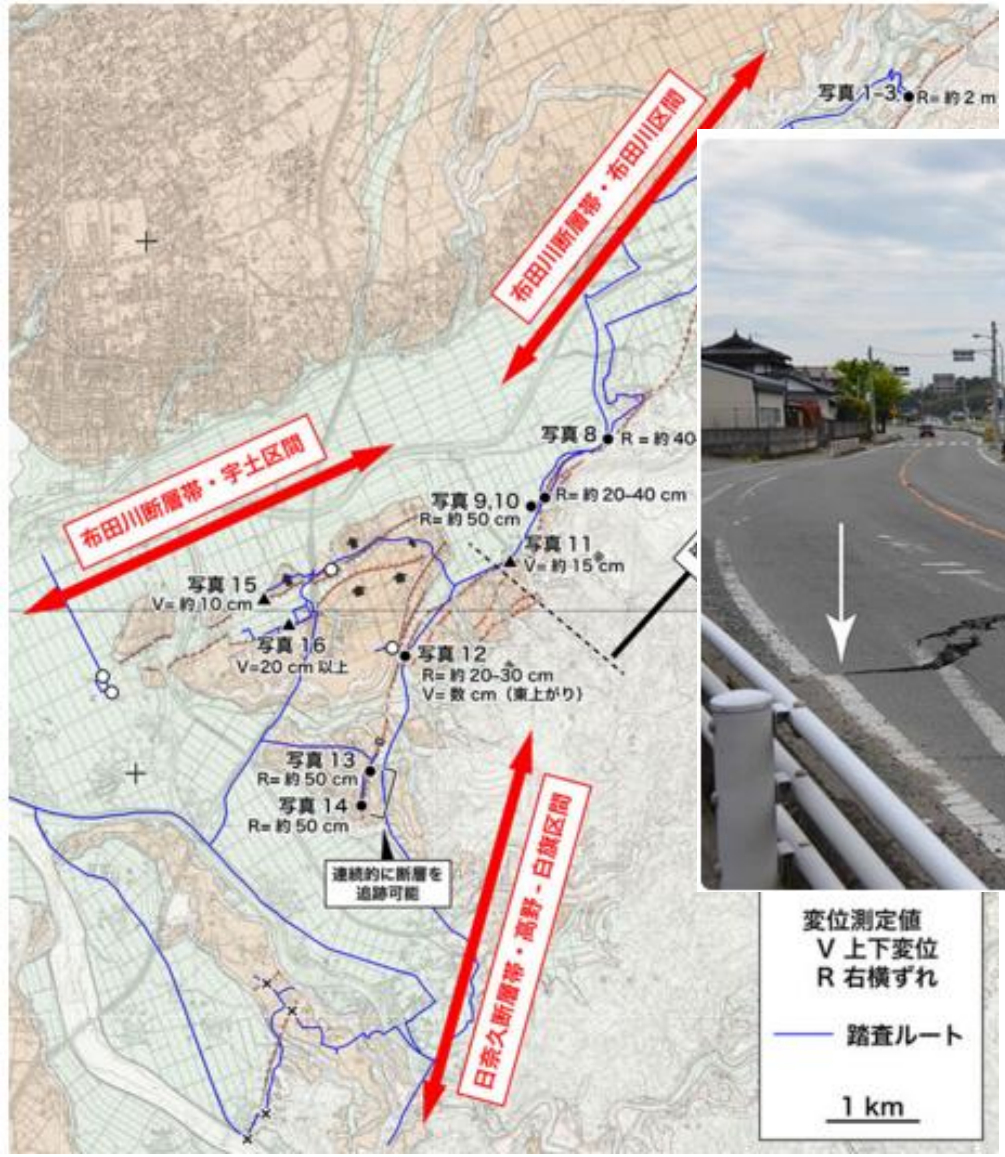
https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html





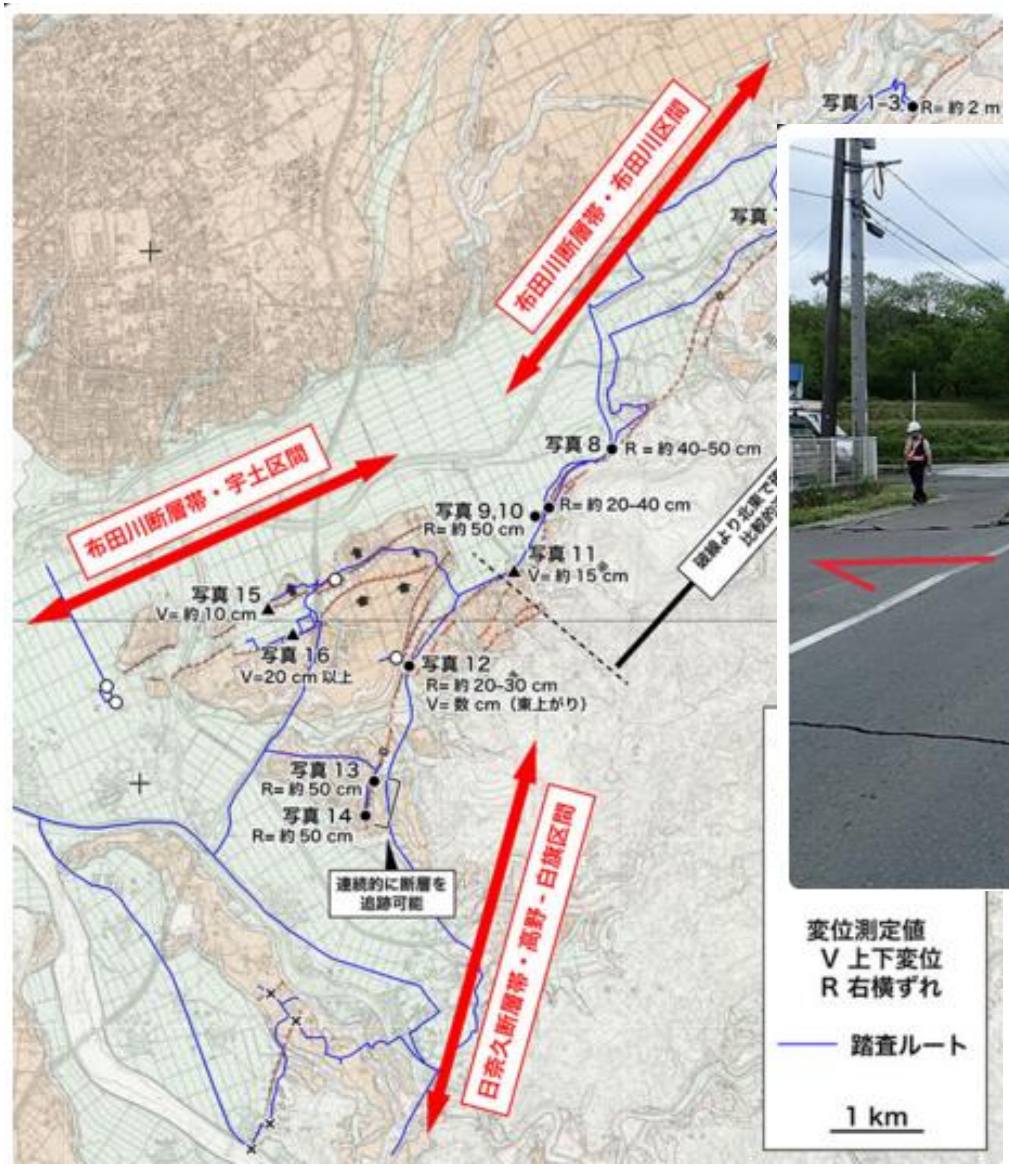
10 - Right-lateral displacement seen in Togawa village west of paddy. Picture taken toward the south-southeast. Right-lateral displacement amount of time relative to the cultivation mark is about 50 cm. (2016 April 16 shooting)

https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html



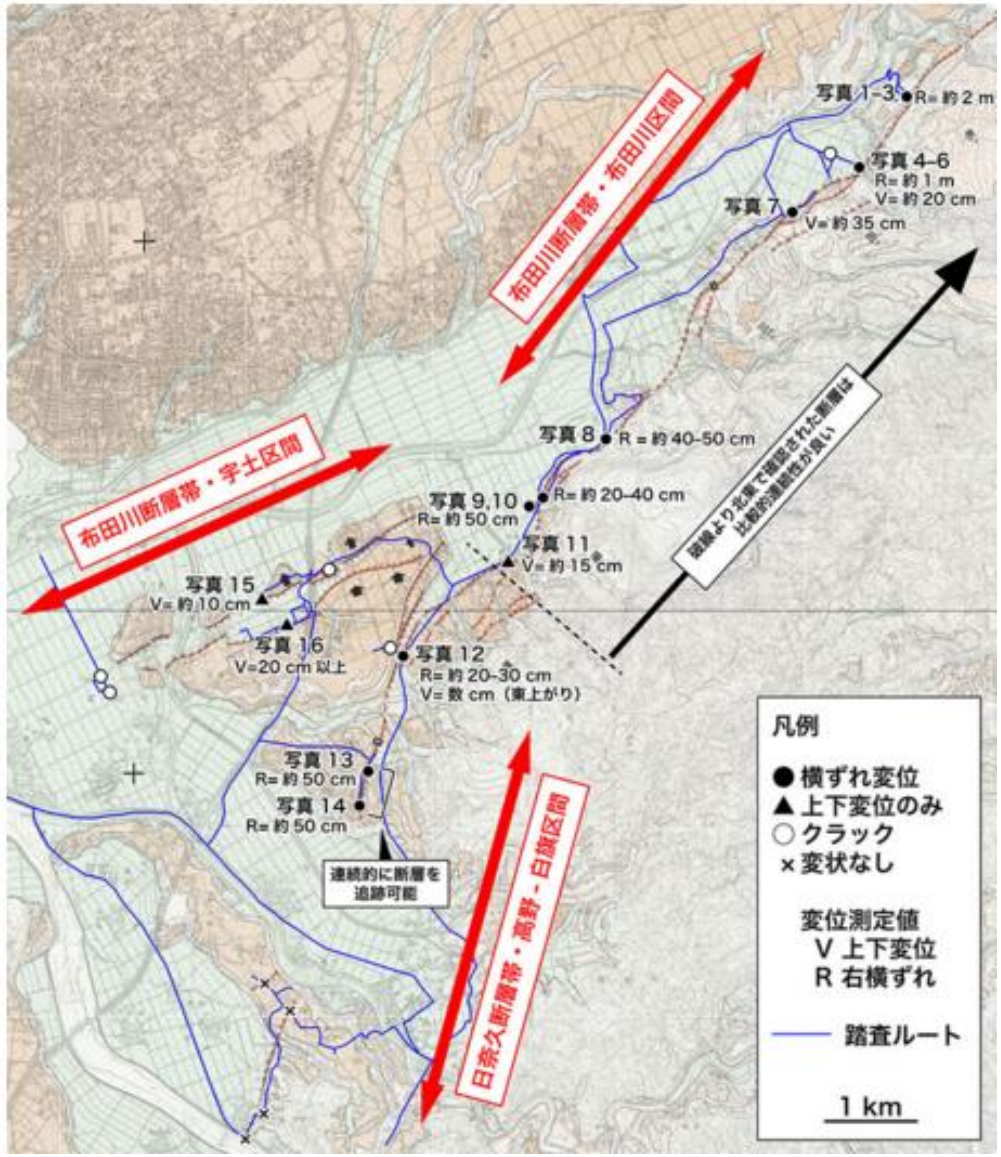
11- Vertical displacement displacement seen in photo 11 Iino elementary school south of National Highway 443 Highway. Picture taken toward the west-southwest direction. Vertical displacement weight of about 15 cm. (2016 April 16 shooting)

https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html



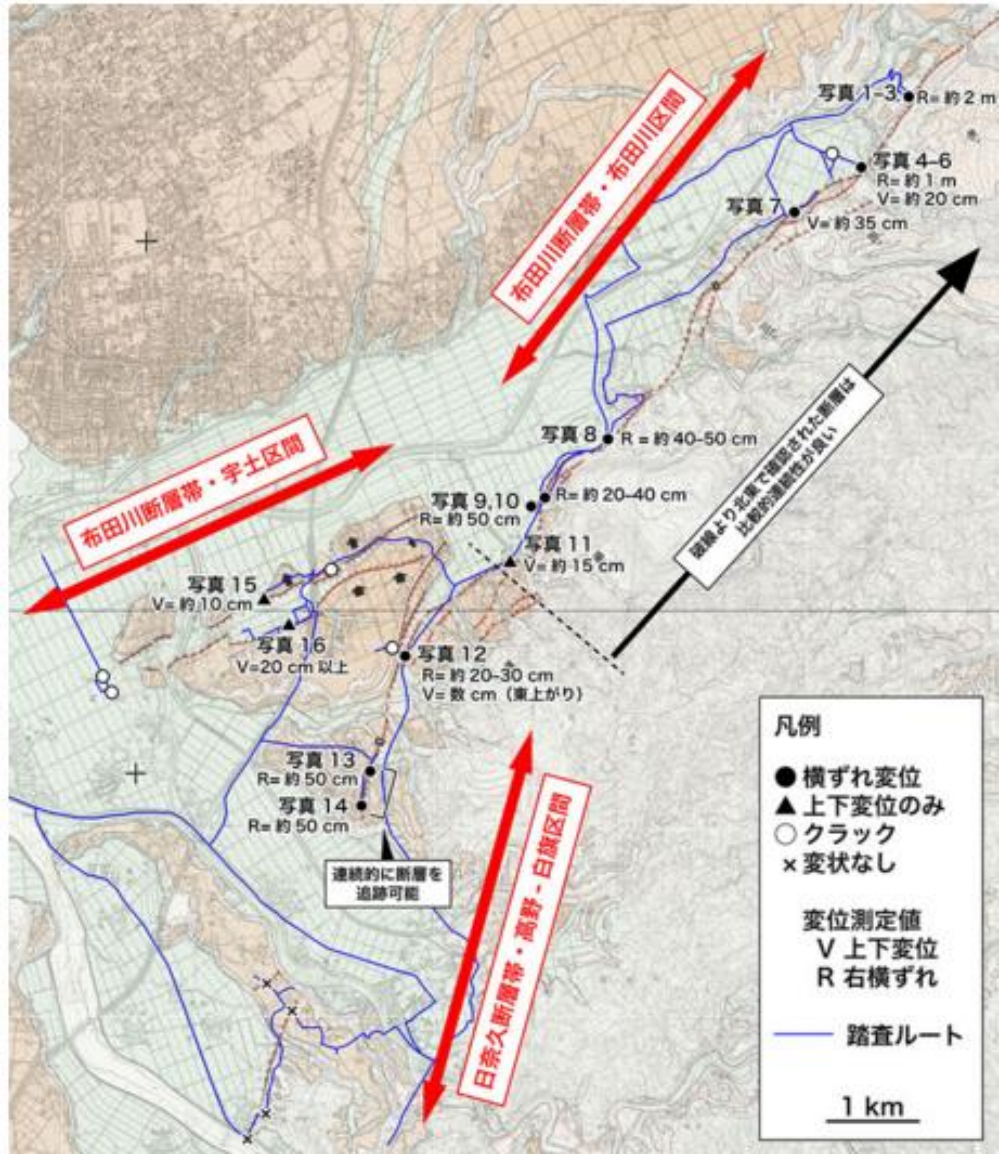
12- Right-lateral displacement seen in photo 12 Tsuchiyama village west of the paved road. Picture taken toward the west direction. (2016 April 16 shooting)

https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html



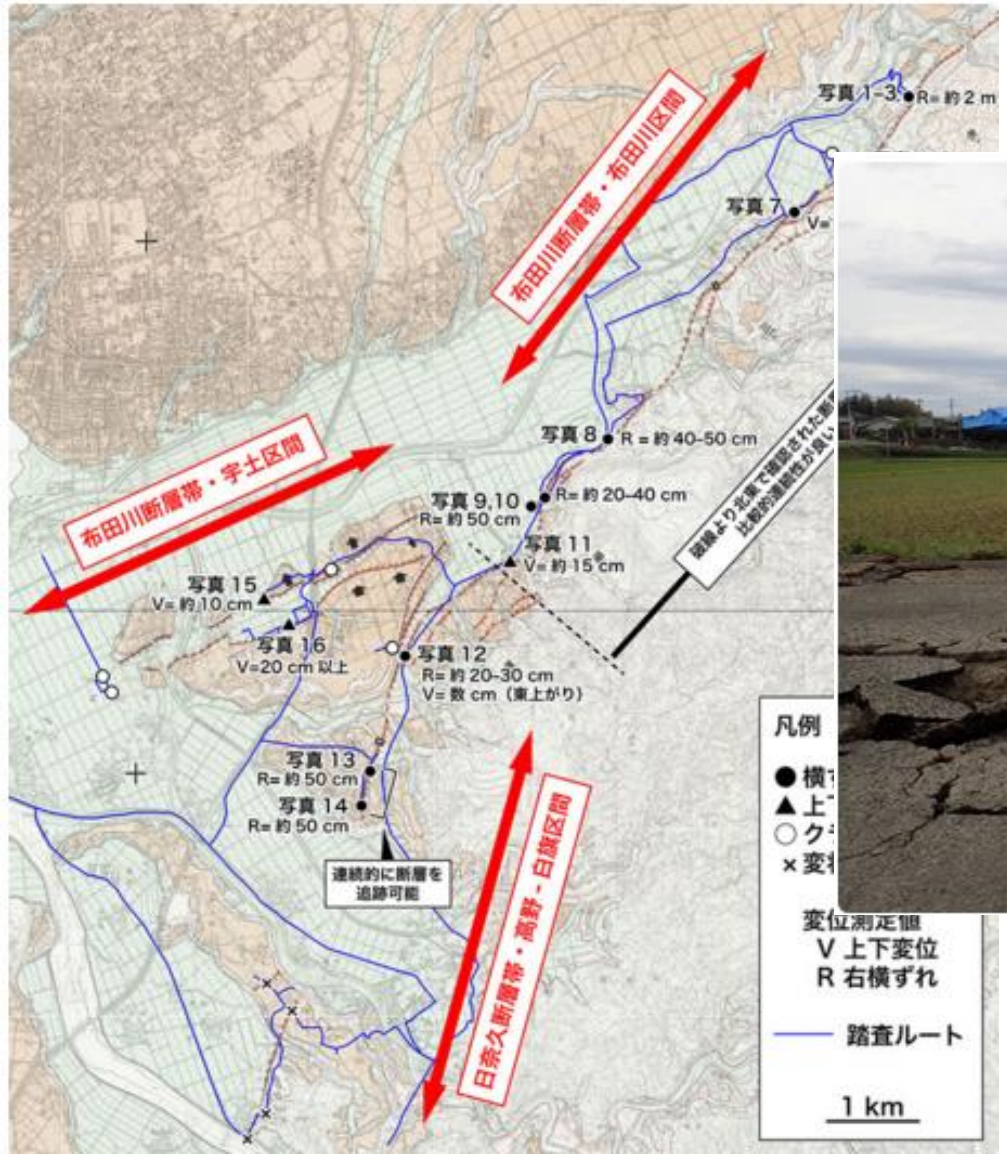
13-Right-lateral displacement seen in the rice paddies of the photo 13 Takagi village. Picture taken toward the south direction. Right-lateral displacement amount is about 50 cm. (2016 April 17 shooting)

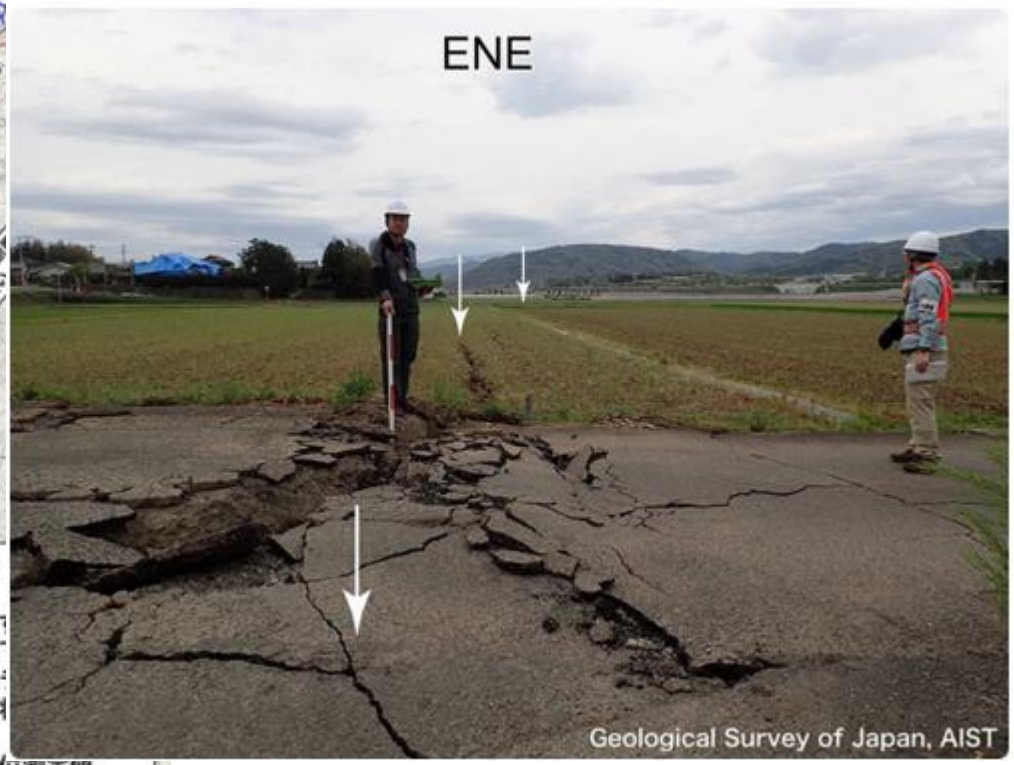
https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html



14- Right-lateral displacement seen in the pavement of Kamikoya village. Picture taken toward the east direction. Right-lateral displacement amount of time on the basis of the gutter is about 50 cm. (2016 April 17 shooting)

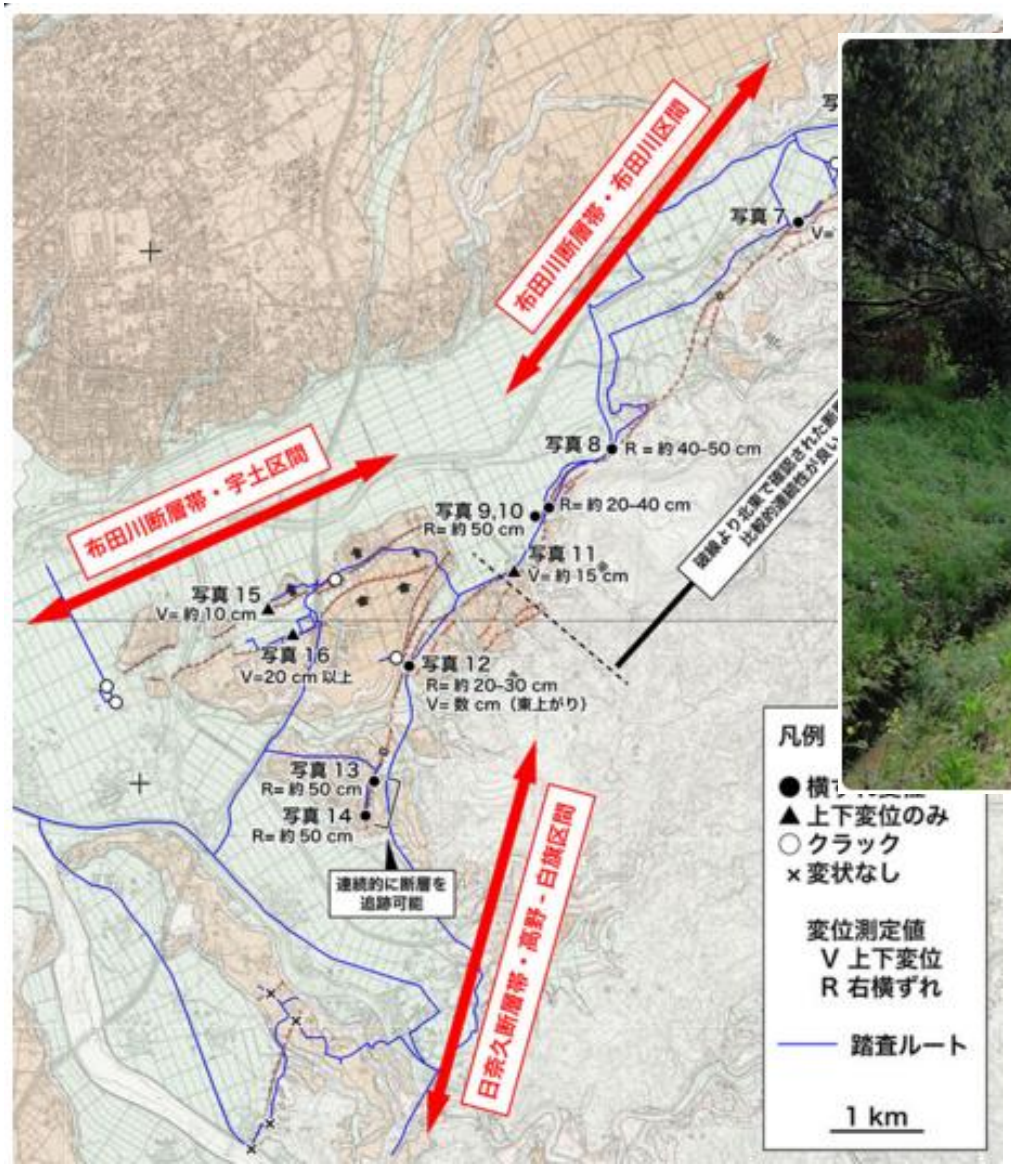
https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html



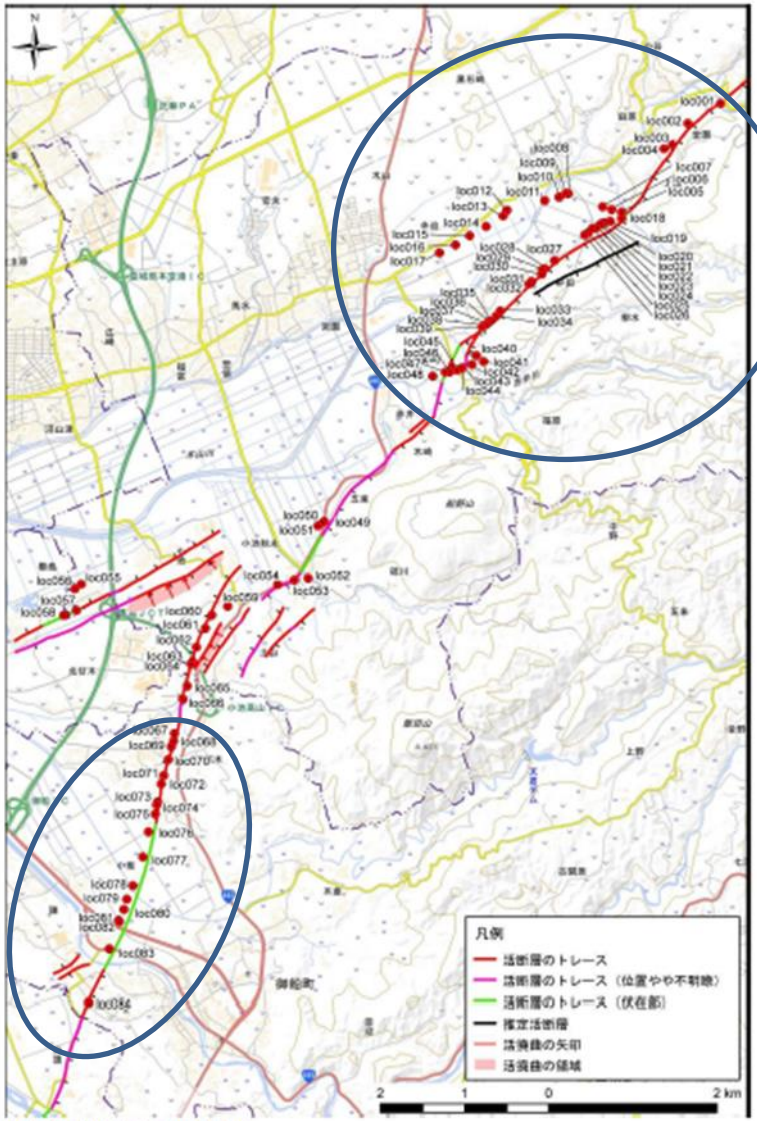


15- Open cracks with a vertical displacement seen in the paved road along the photo 15 Kushito village southern margin. Picture taken toward the east-northeast direction. Up and down the amount of displacement is approximately 10 cm. Crack intermittently distributed in the northeast southwest direction of the field. (2016 April 16 shooting)

https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160419.html

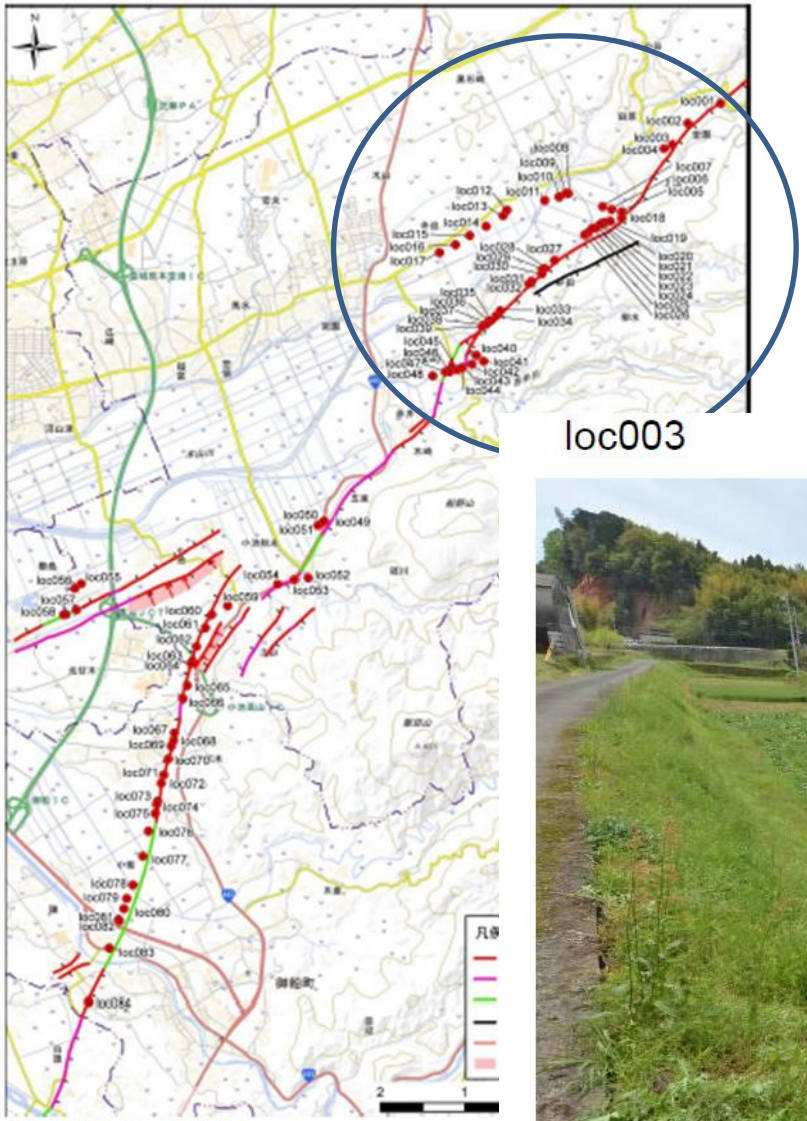


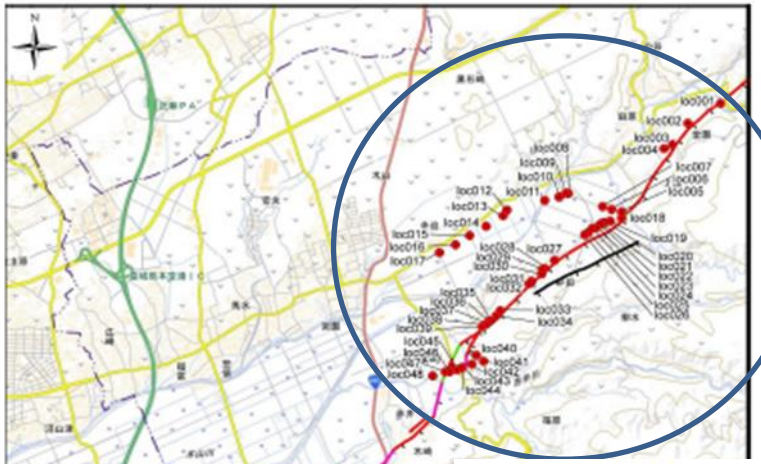
16- Deformation of the fence caused by the south open cracks and the south side of the deflection-up of the rise that occurred at the boundary between the photo 16 Kushito village south of topographical growing and rice paddies. Picture taken toward the west-southwest direction. Up and down the amount of displacement is approximately 20 cm or more. Deflection and opening cracks in the south rise is seen continuously along the terrain boundary. White arrows represent the shape of the deflection. (2016 April 17 shooting)



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出版会の「活断層シェープファイル」を使用した（製品シリアル番号:DAFM2041）

現地調査位置図

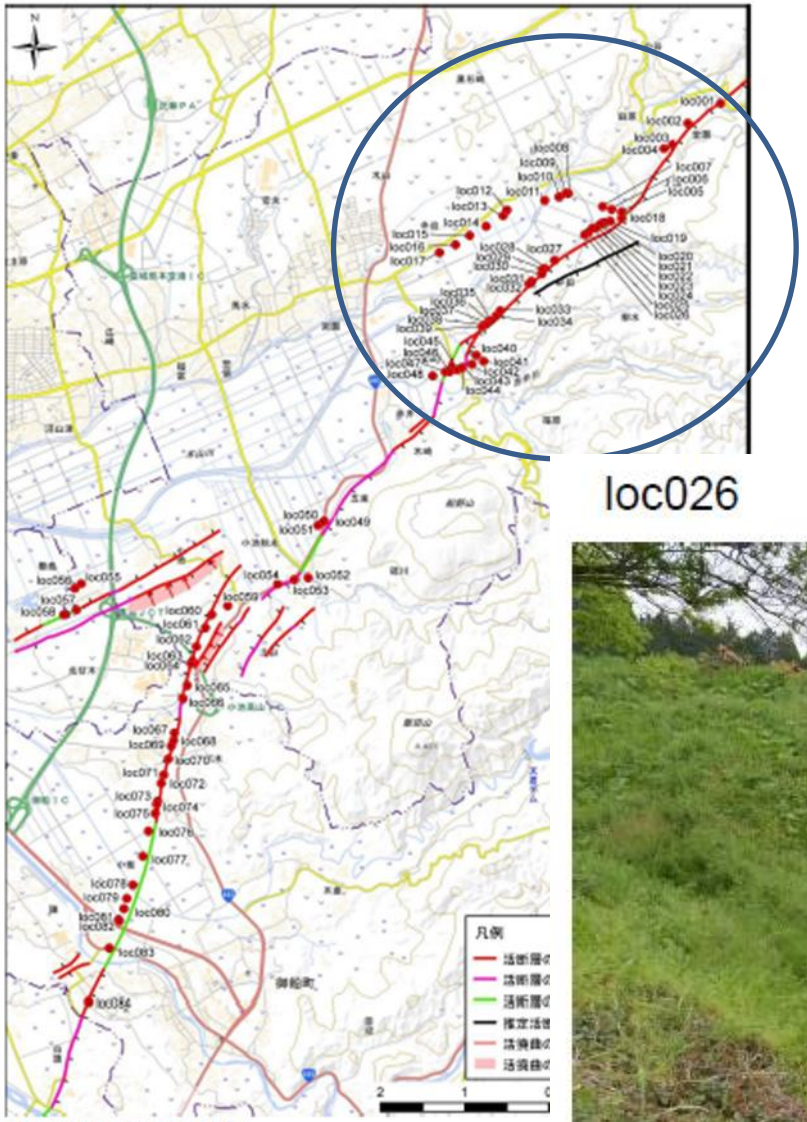

loc003
RL 2m
NW up 0.2m
PASCO
World's Leading Geospatial Group
撮影：株式会社パスコ



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田　高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

loc018

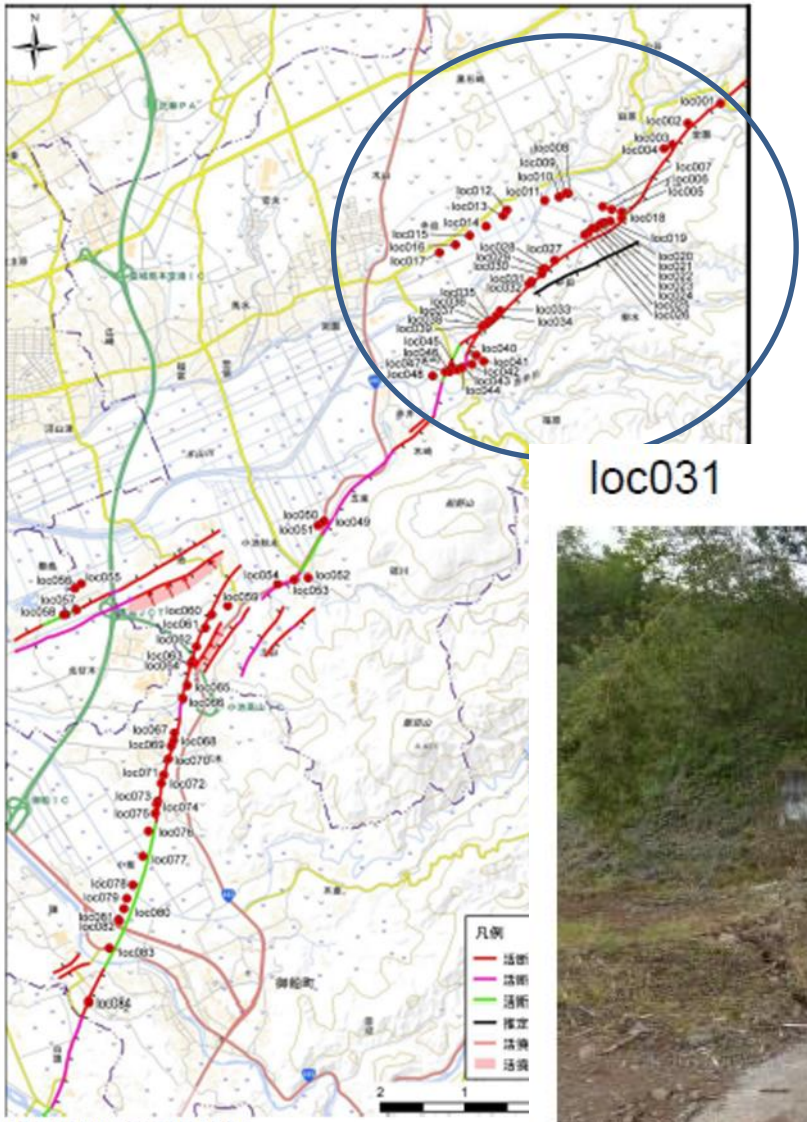


・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出版会
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

Vertical 0.5m

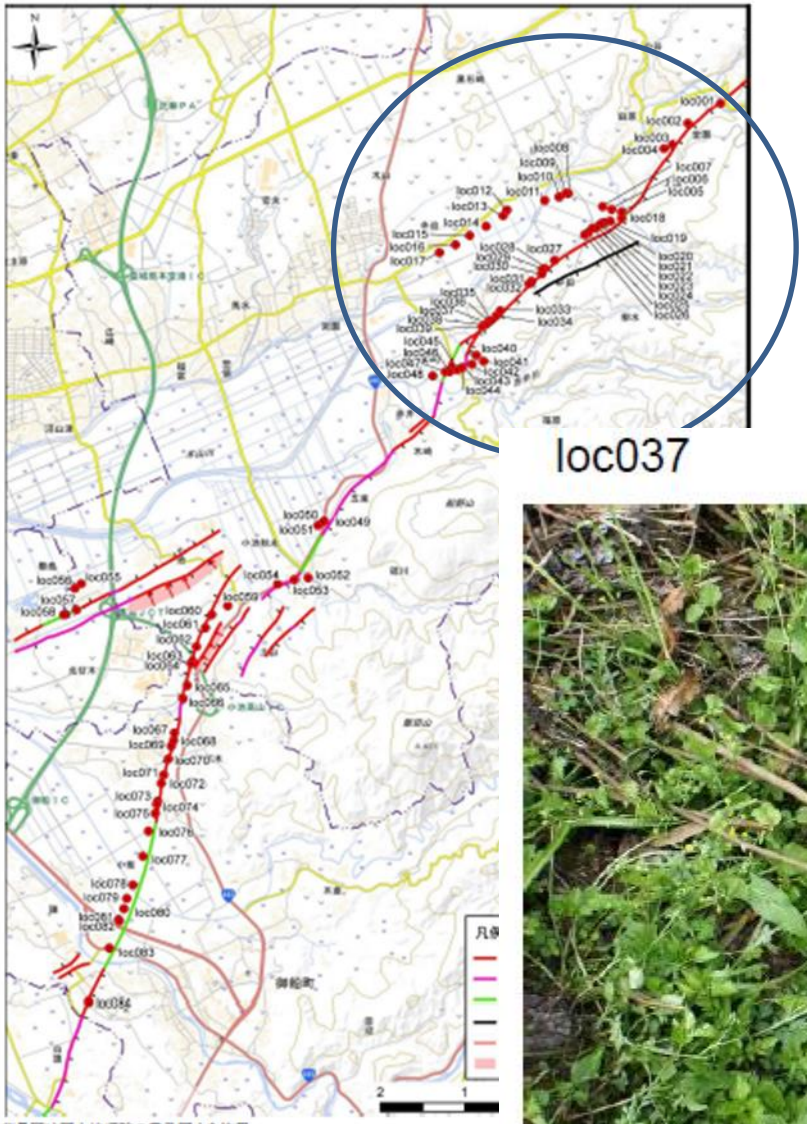
loc026



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田　高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出版
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

loc031

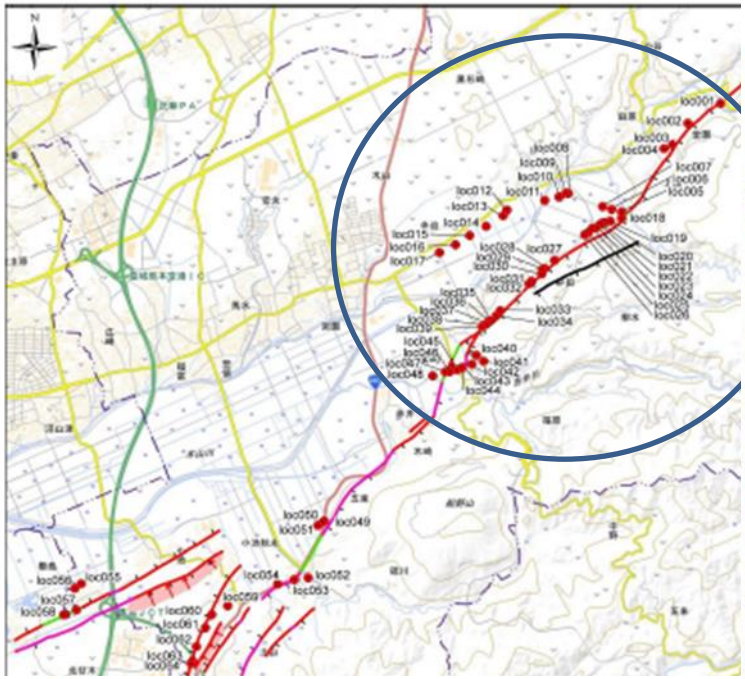


・背景図は国土地理院の電子国土を使用

・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出版会(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

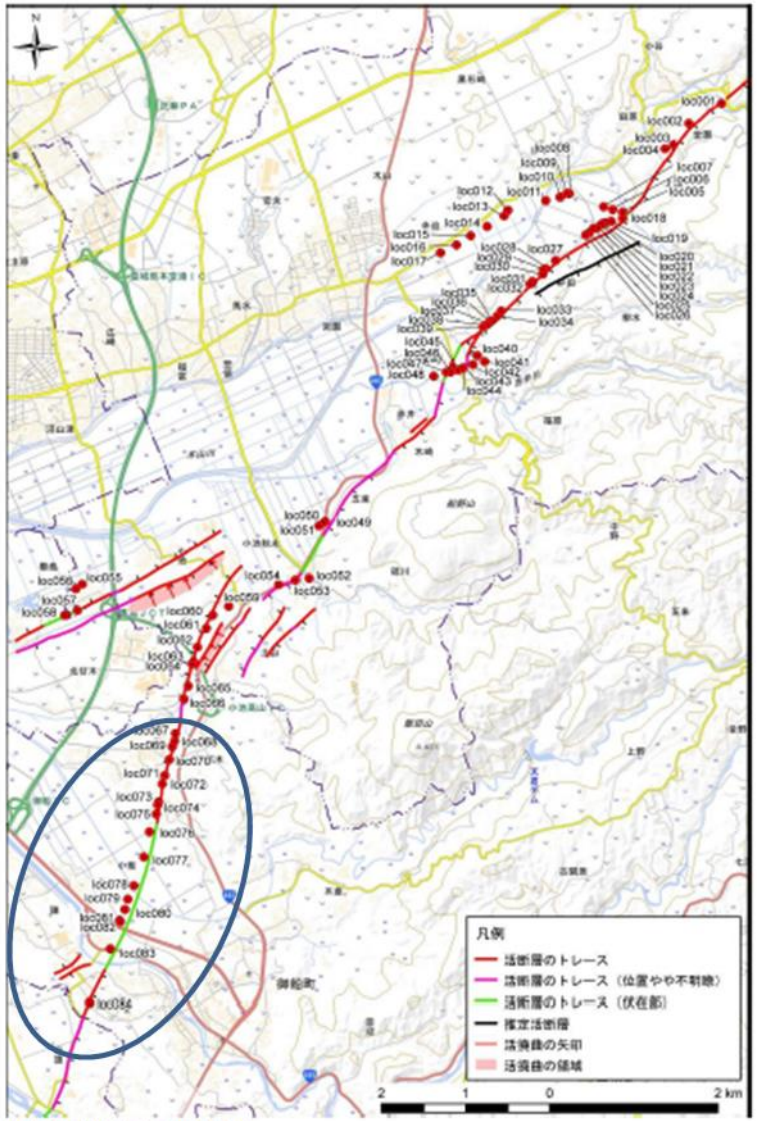
loc037



loc044

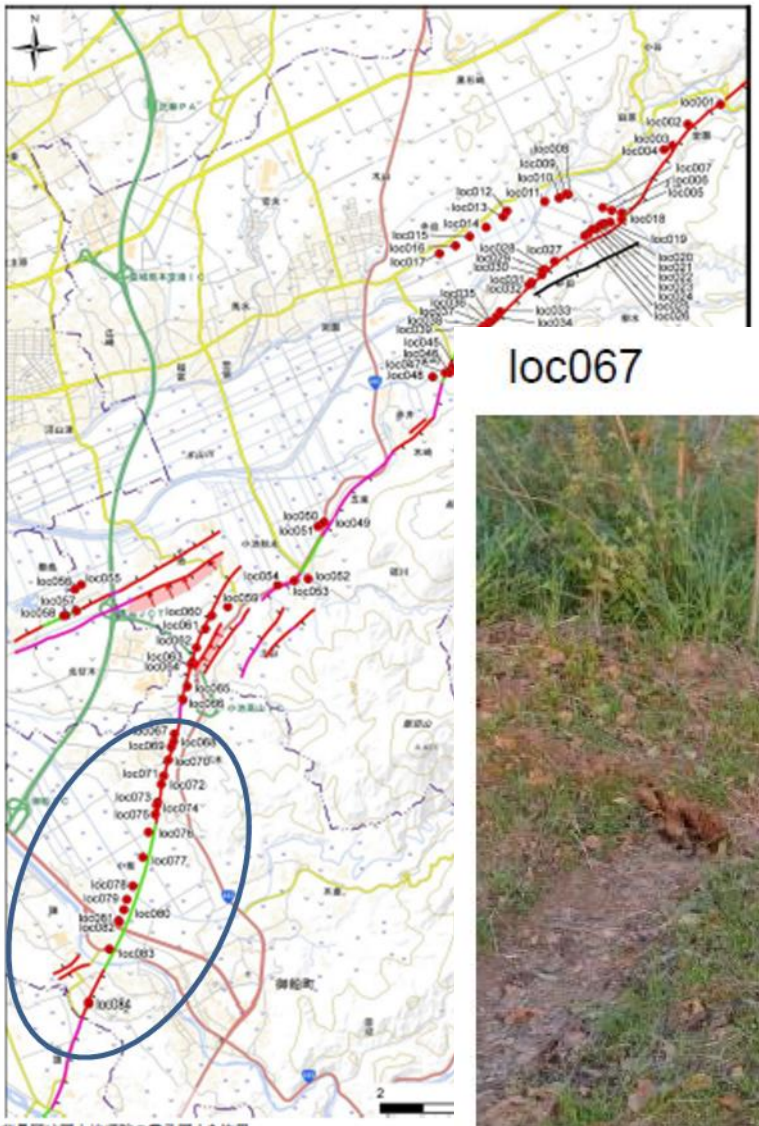
loc043

loc046



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」。東京大学出版会の「活断層シェープファイル」を使用した（製品シリアル番号:DAFM2041）

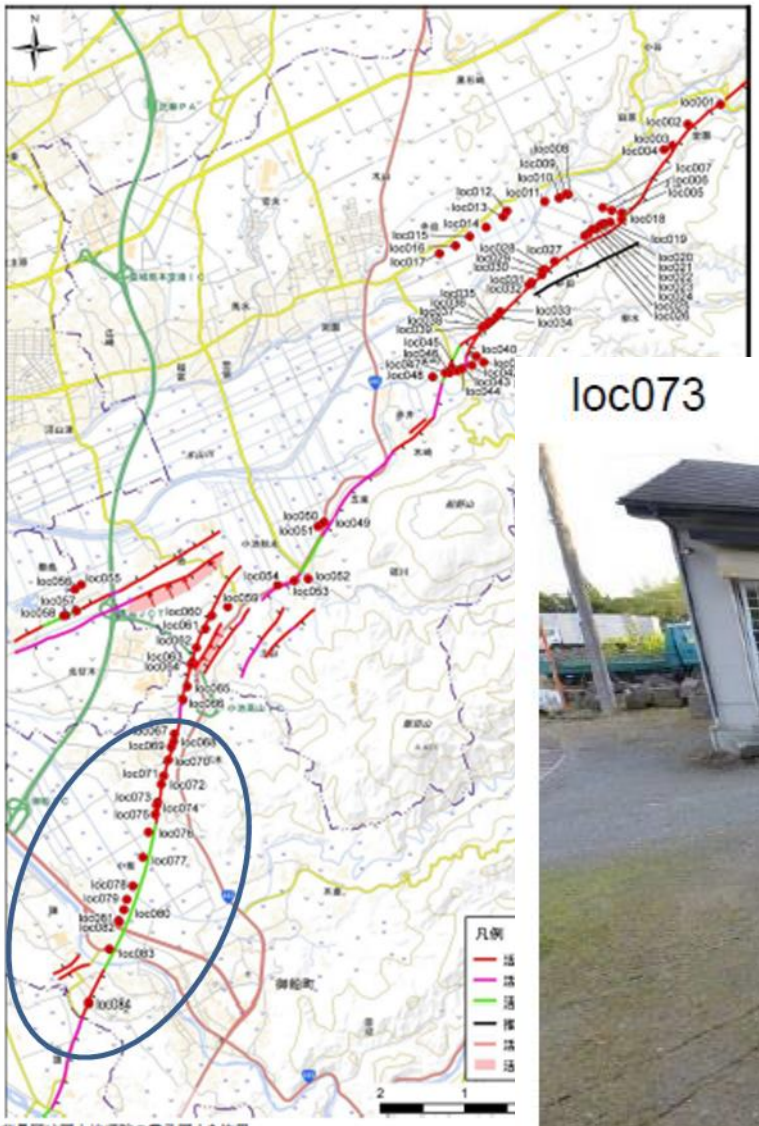
現地調査位置図



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

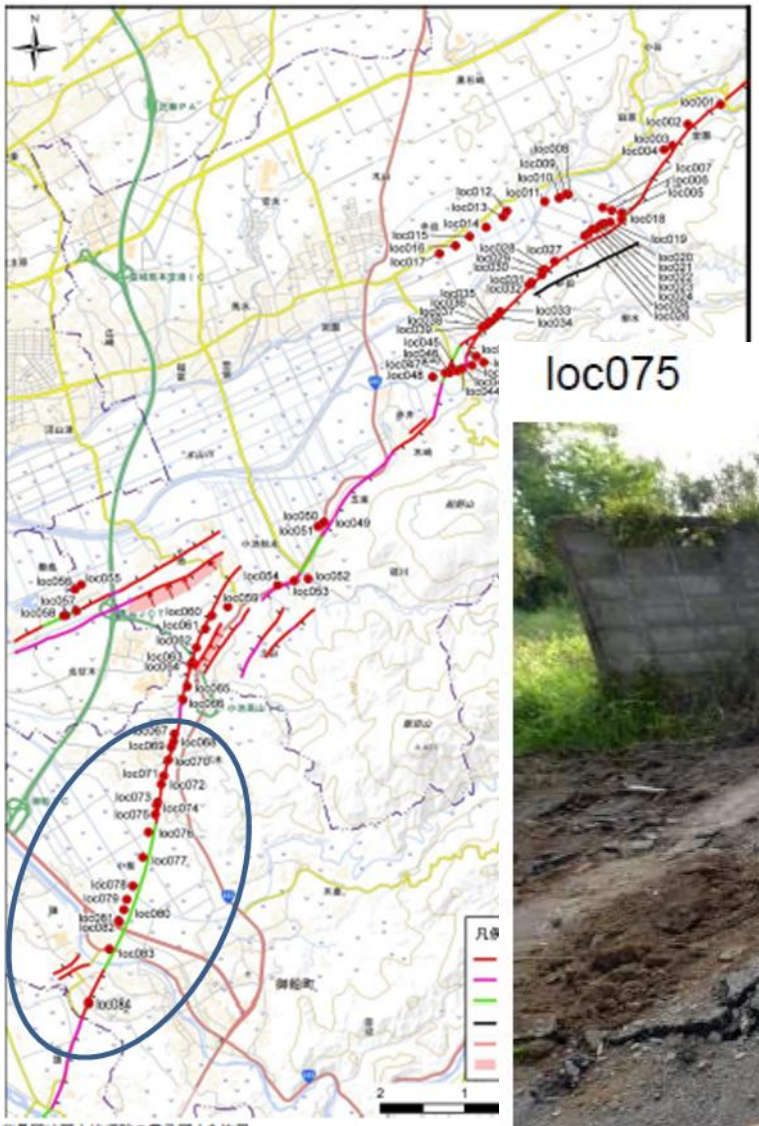
loc067



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田　高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

loc073

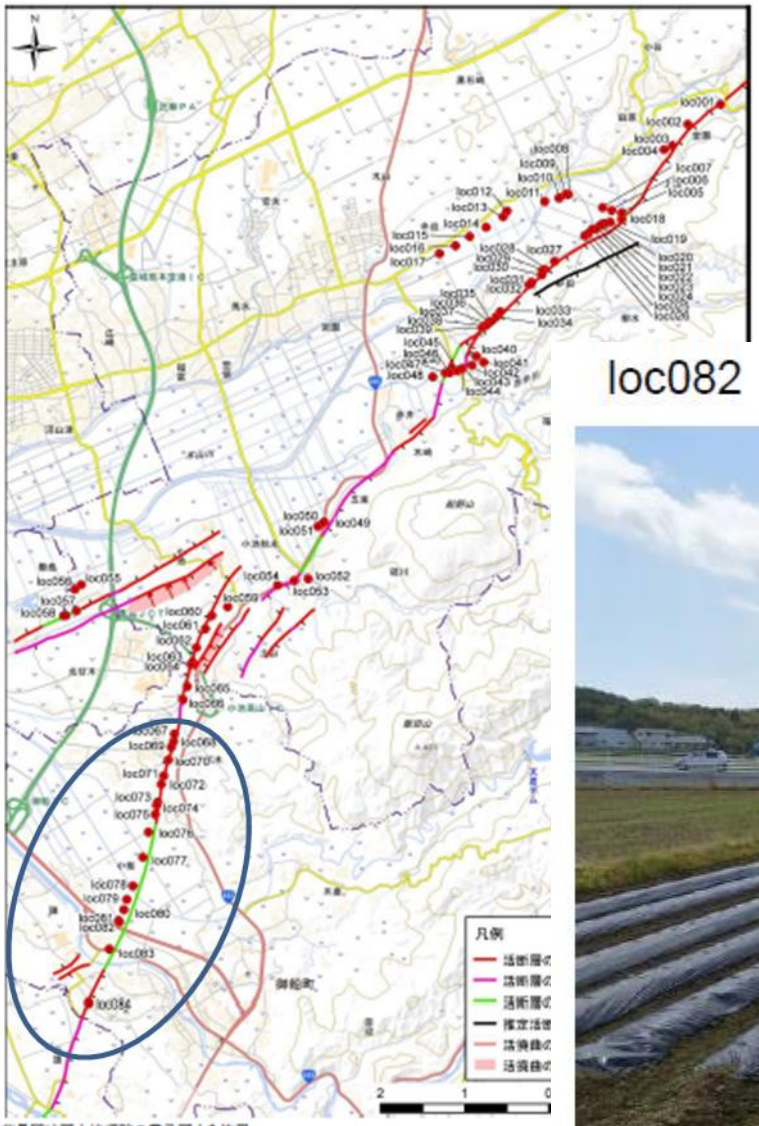


・背景図は国土地理院の電子国土を使用

・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

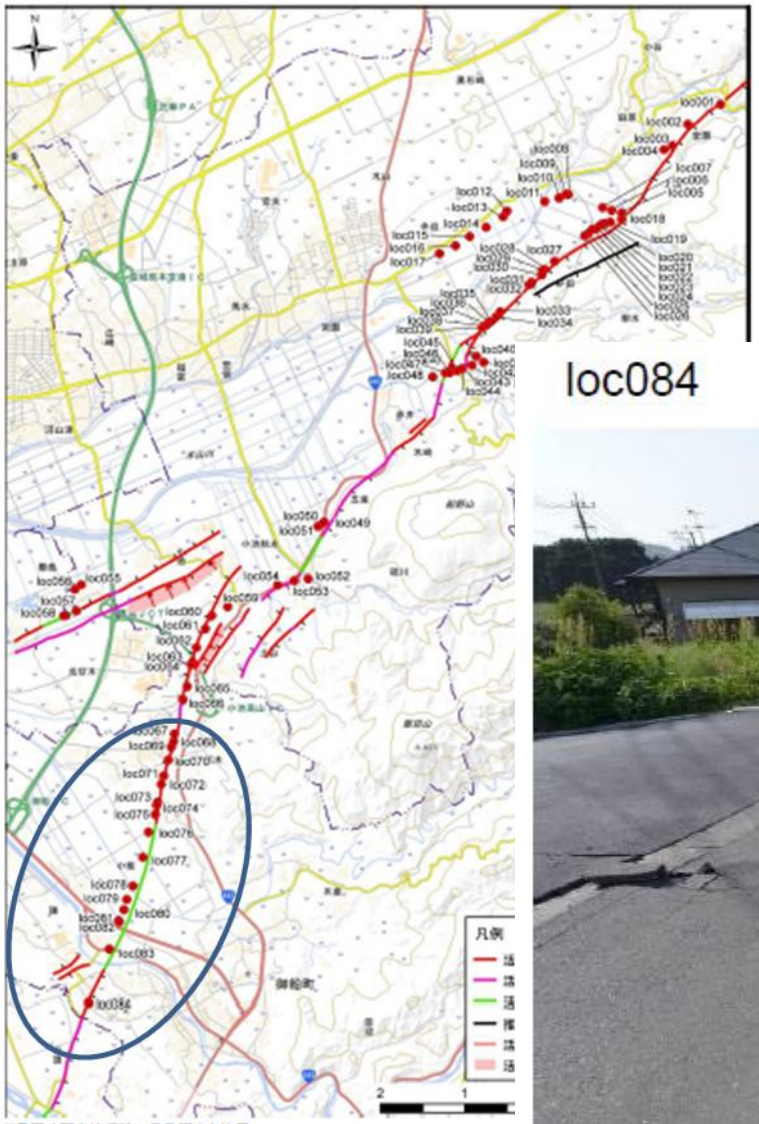
loc075



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田　高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出版会
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

loc082



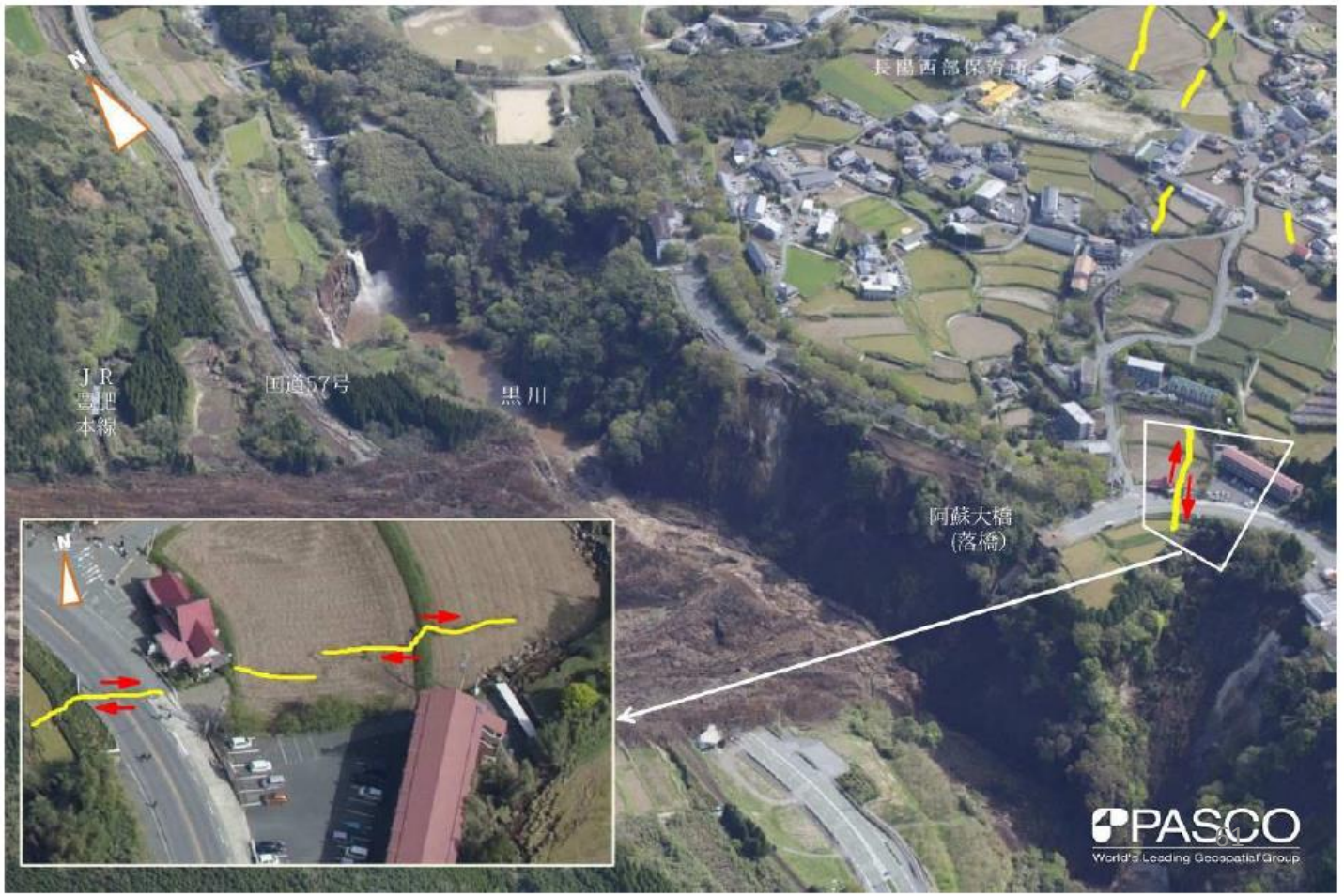
・背景図は国土地理院の電子国土を使用

・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

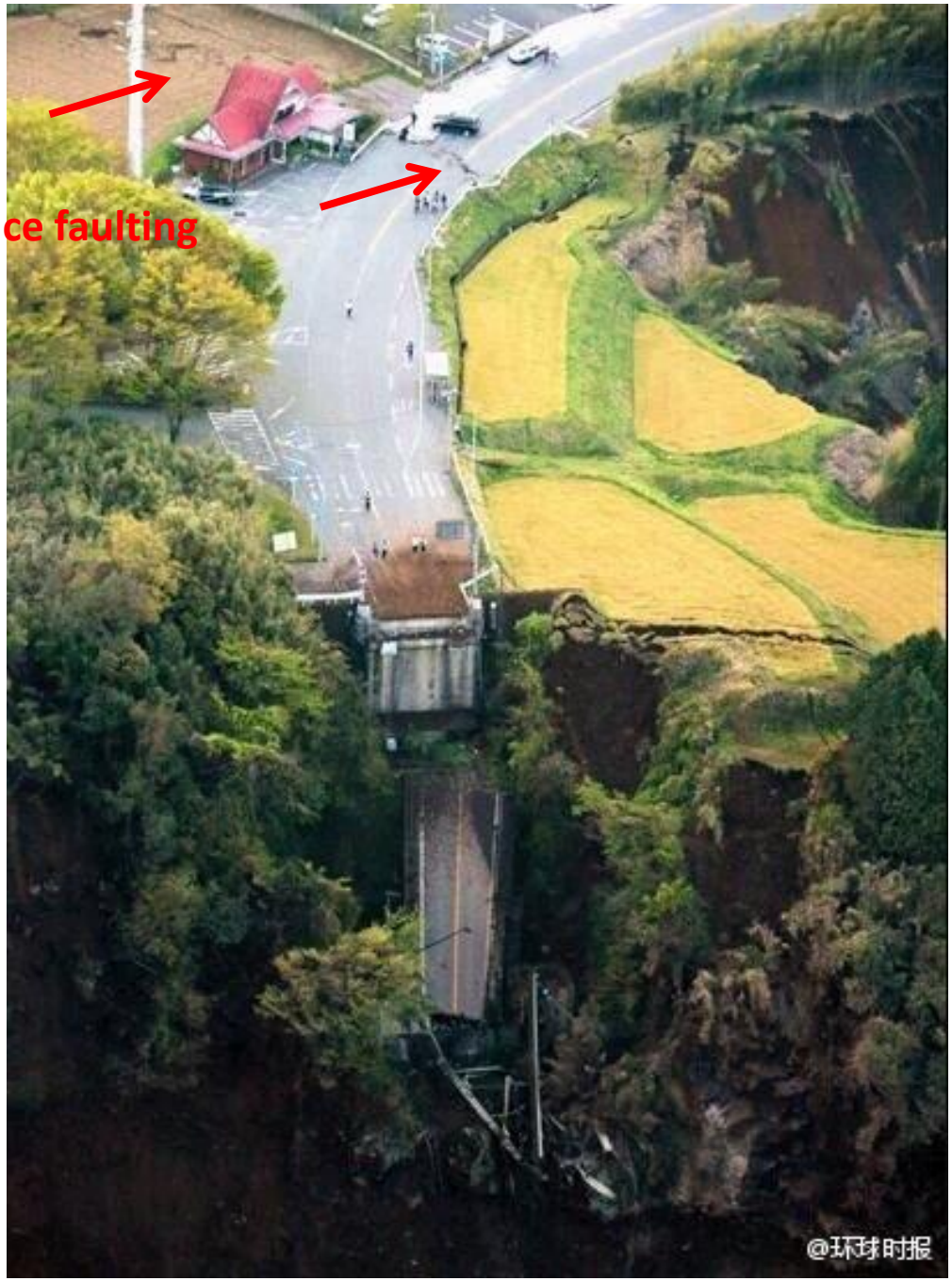
現地調査位置図

loc084

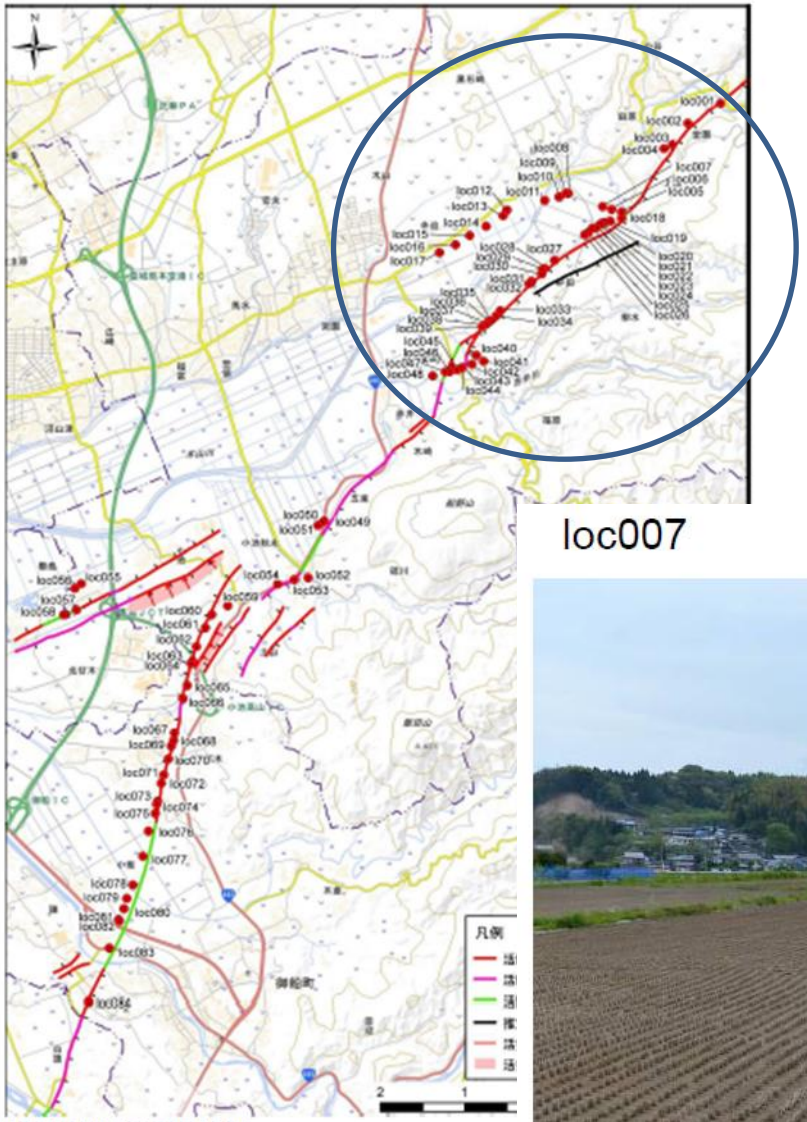
In front of the Mimami-Aso landslide (see further)



Another perspective of the same area



Conjugate rupture

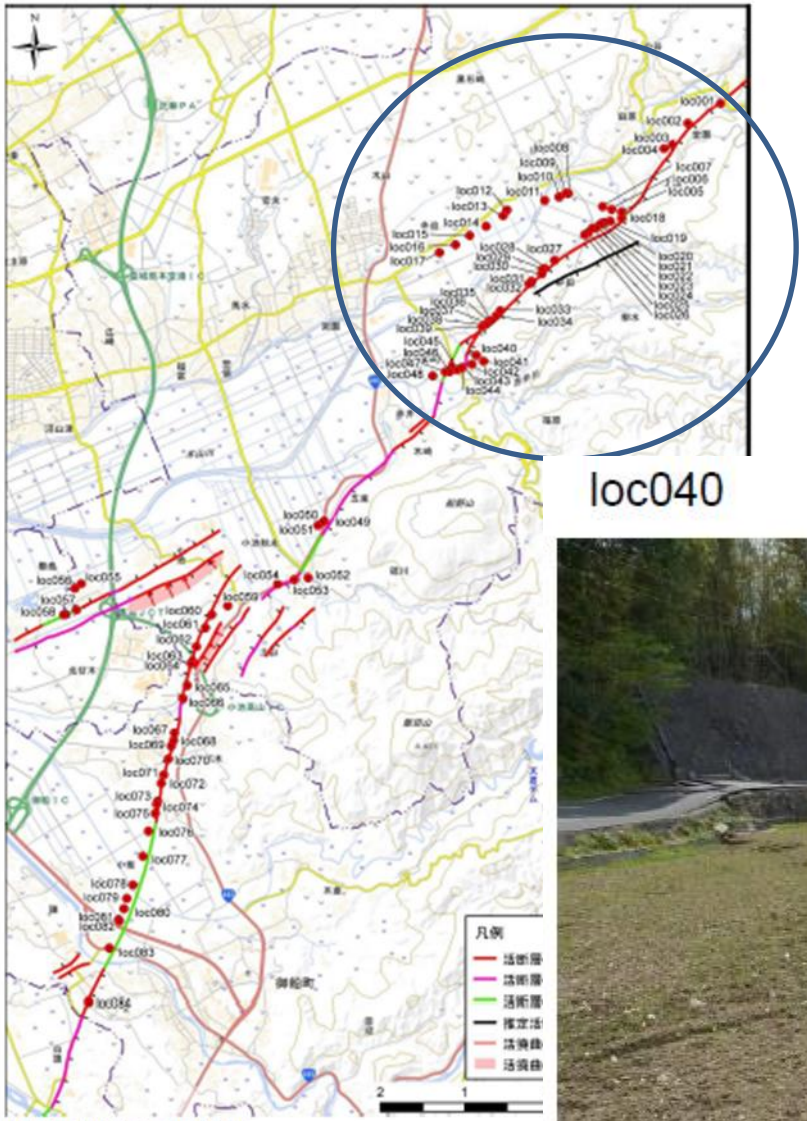


・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

loc007

Left Lateral on WNW-ESE



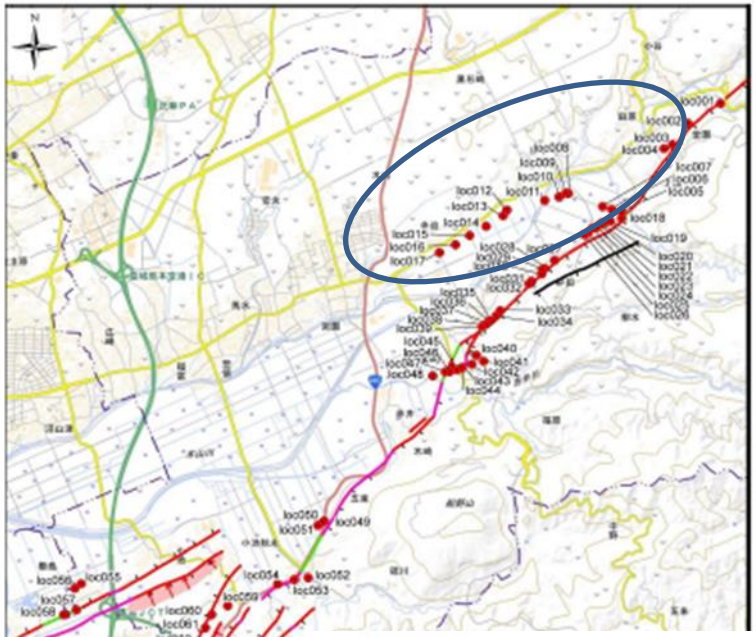
・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出版会
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

現地調査位置図

Left Lateral + Vertical on WNW-ESE

loc040

Secondary Faulting



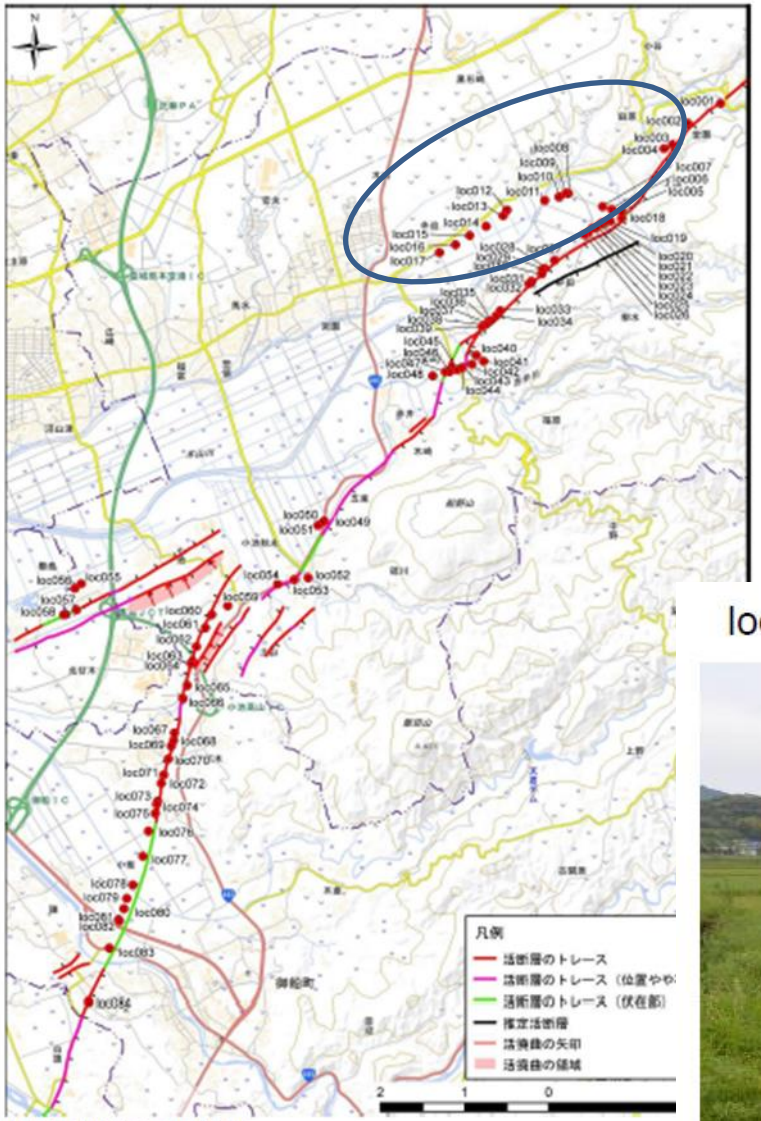
loc008

loc016

熊本県上益城郡
益城町下寺中灰塚（木山川右岸）

農道が右横ずれ 0.5～1m 程度認められる
写真左右の水田に地表地震断層が連続する

Right Lateral Faulting on secondary rupture



・背景図は国土地理院の電子国土を使用
・本図には、中田 高・今泉俊文編,2002,「活断層詳細デジタルマップ」,東京大学出版会の「活断層シェープフ
た(製品シリアル番号:DAFM2041)

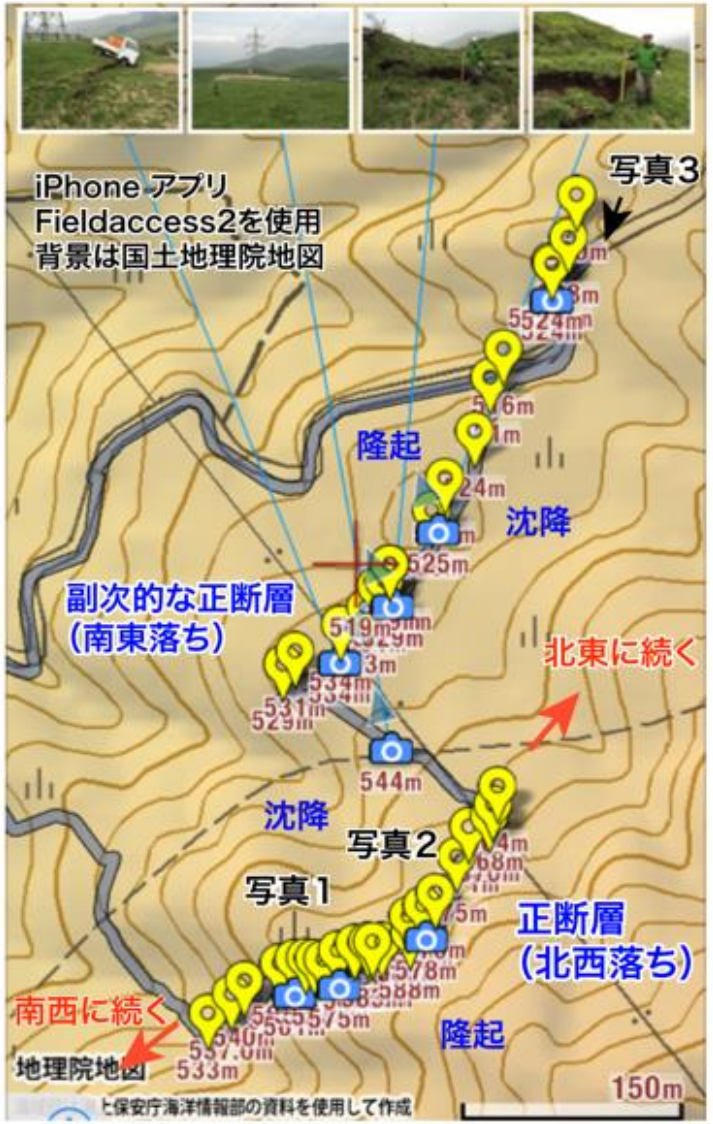
現地調査位置図

Mole track with vertical offset?

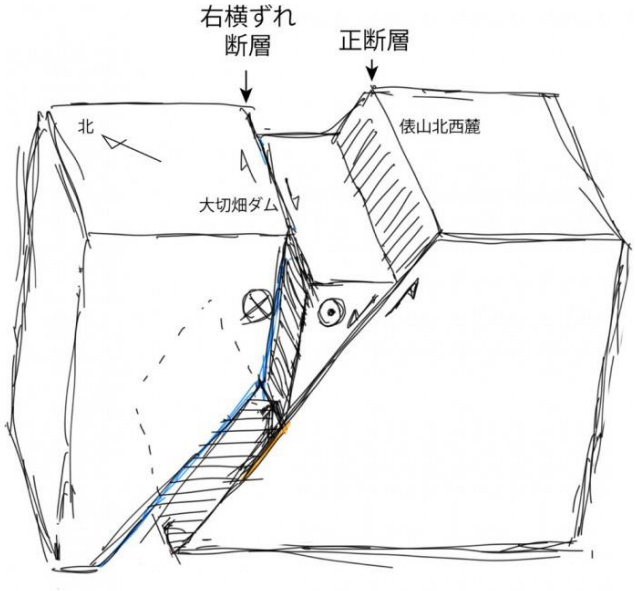
loc012

http://irides.tohoku.ac.jp/irides-news/20160425/426

地震調査研究推進本部(2012)の
断層分布図を使用



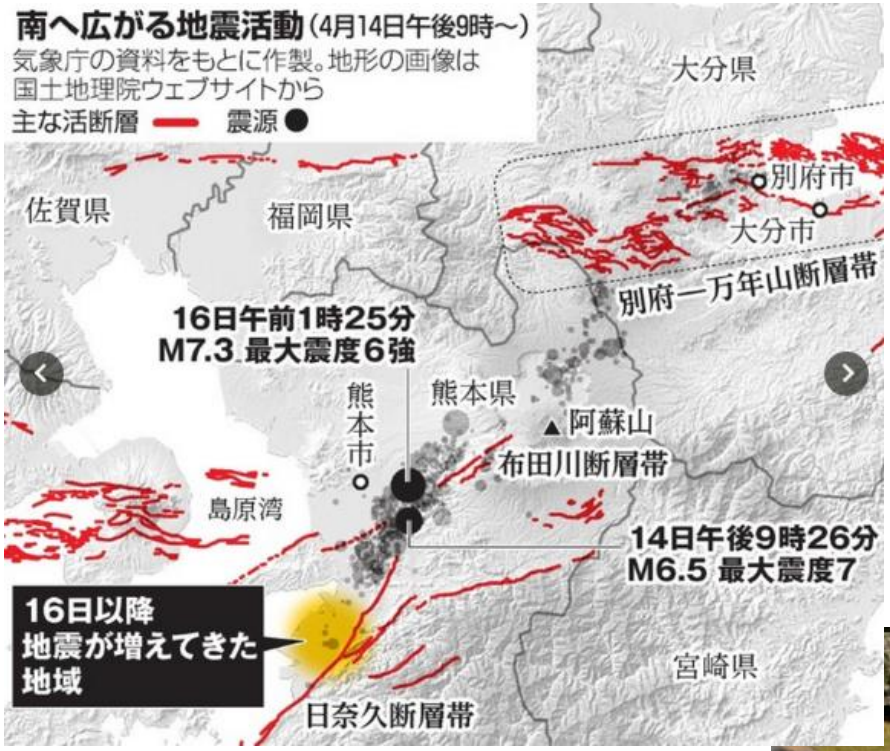
http://irides.tohoku.ac.jp/irides-news/20160425/426



Main fault (strike-slip)

Secondary fault (normal)

Other pictures of Surface Ruptures



http://www.asahi.com/

Surface faulting during 2016 Kumamoto Earthquake - Compilation by S. Baize (IRSN)

Synthesis

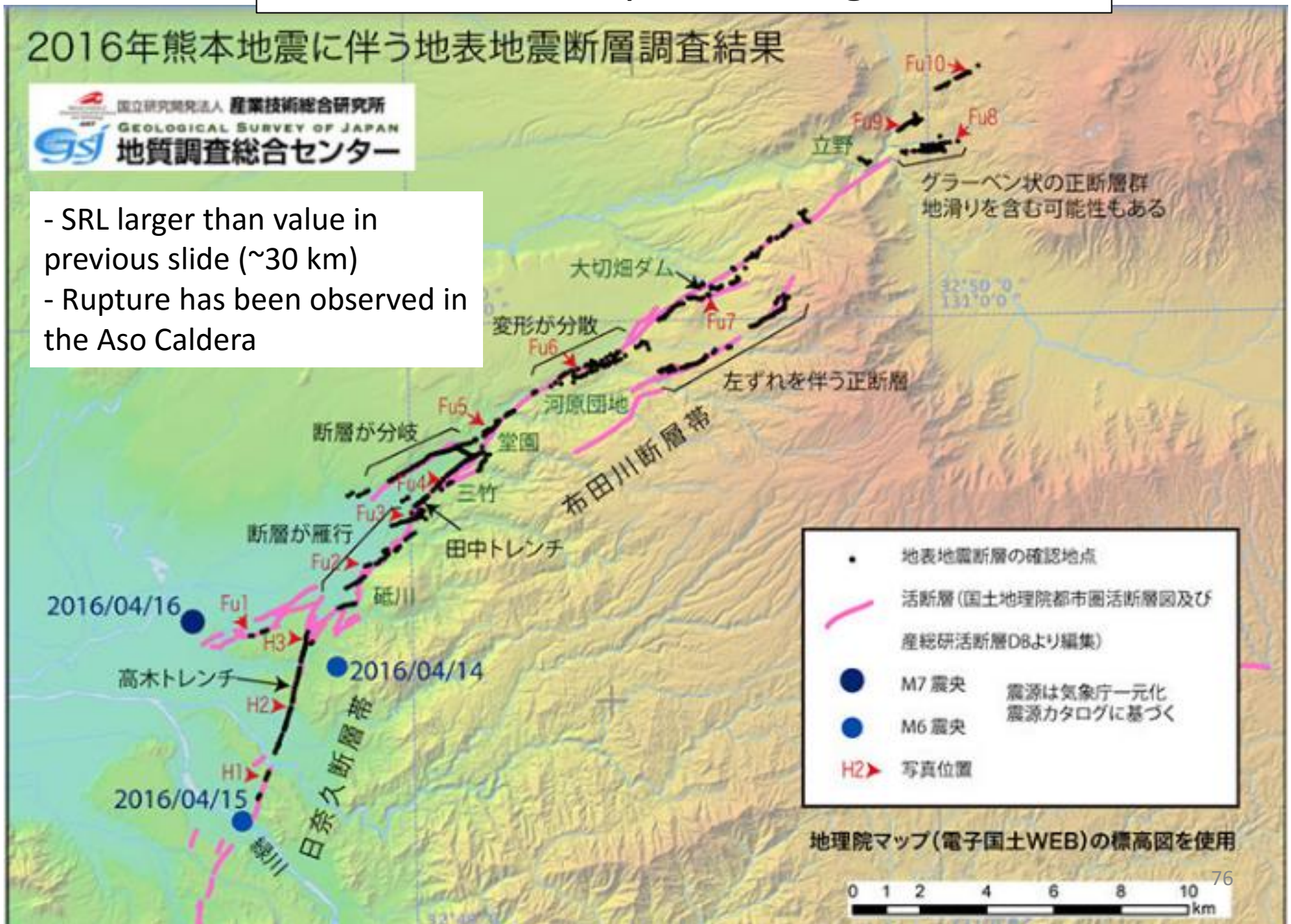
- Surface rupture length
  - 26 km
- Maximum Displacement
  - 2 meters

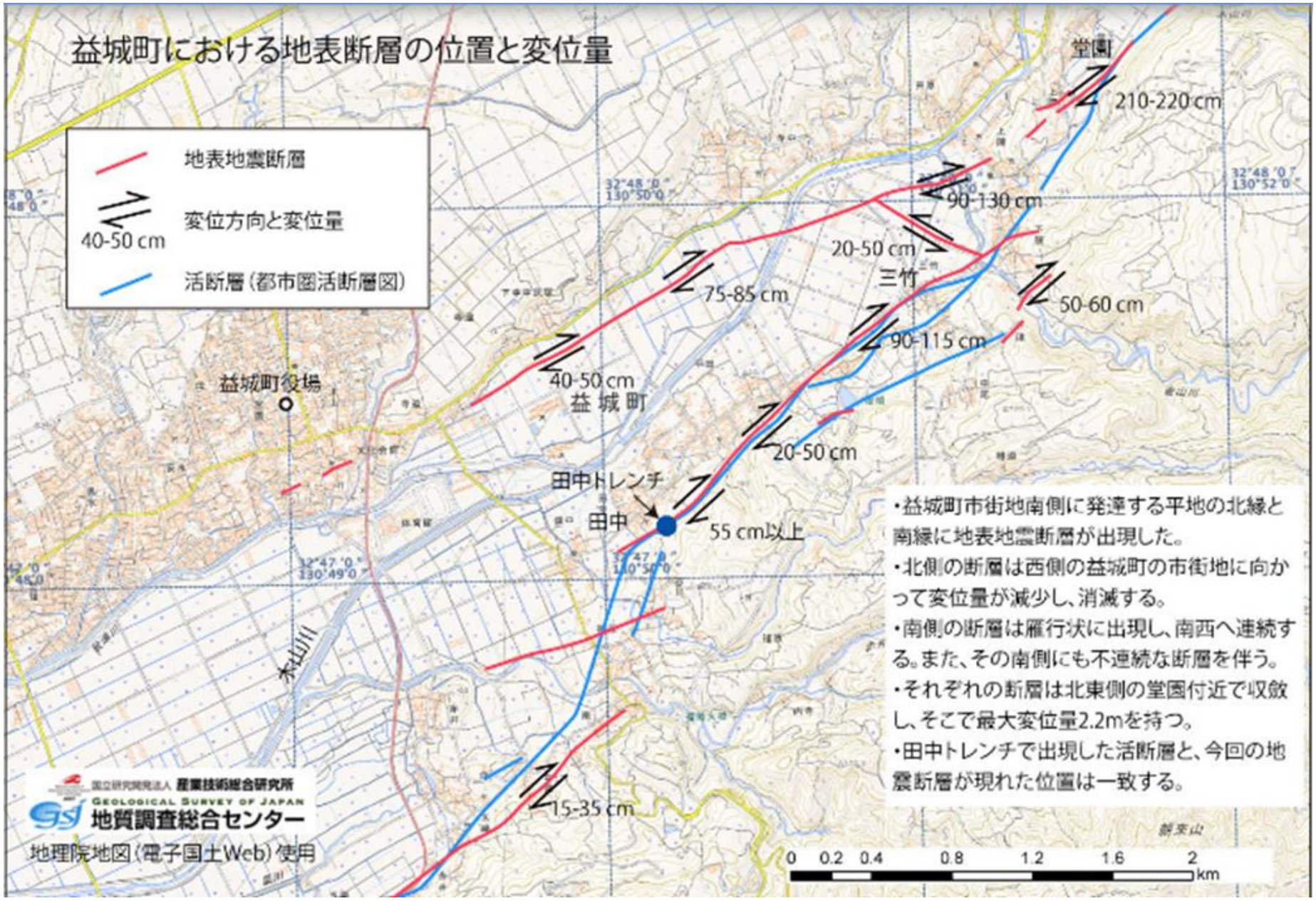
第１図　熊本地震に伴う地表地震断層の確認地点

地震断層の確認地点

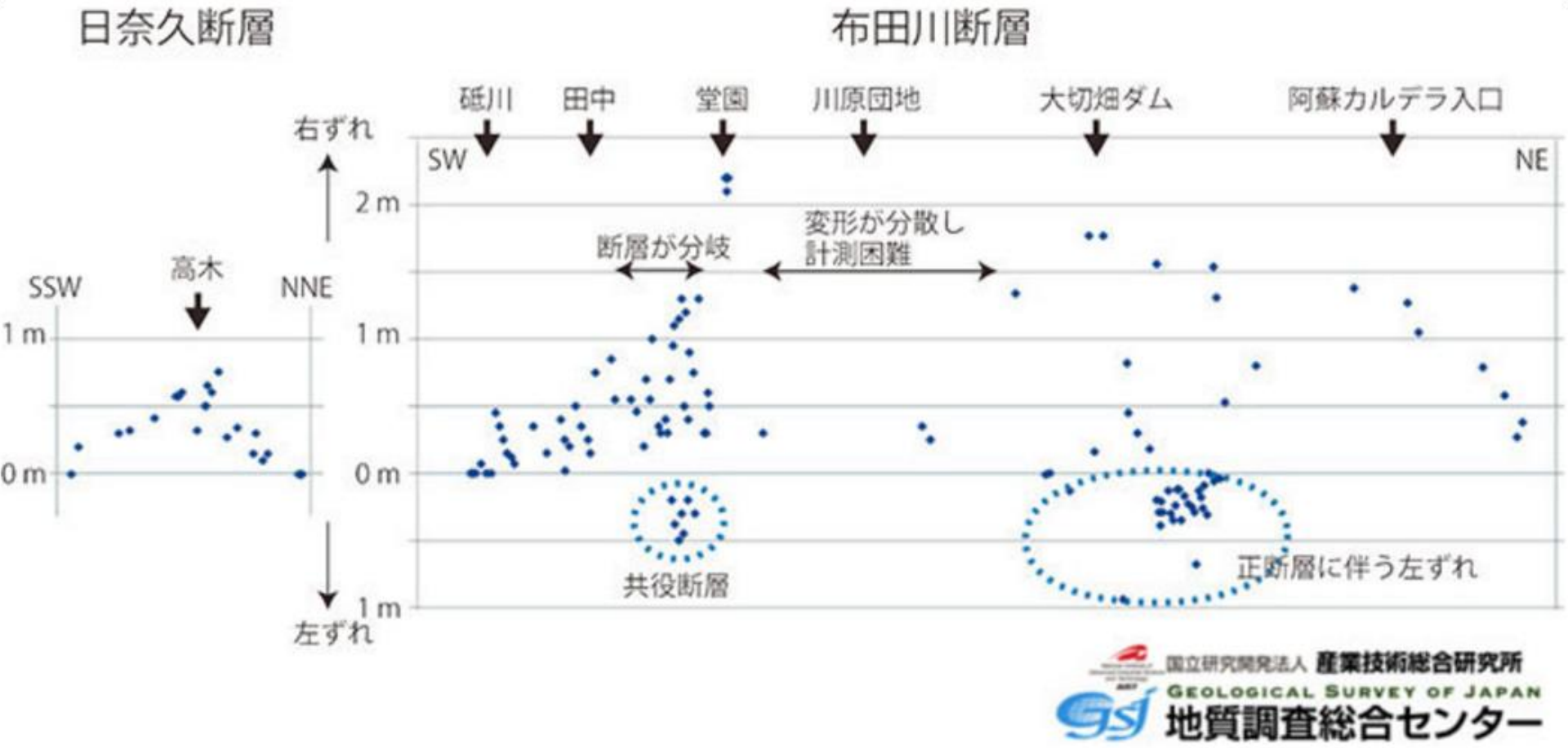
http://jsaf.info/jishin/items/docs/20160420164714.pdf

Surface Fault Map according to the GSJ

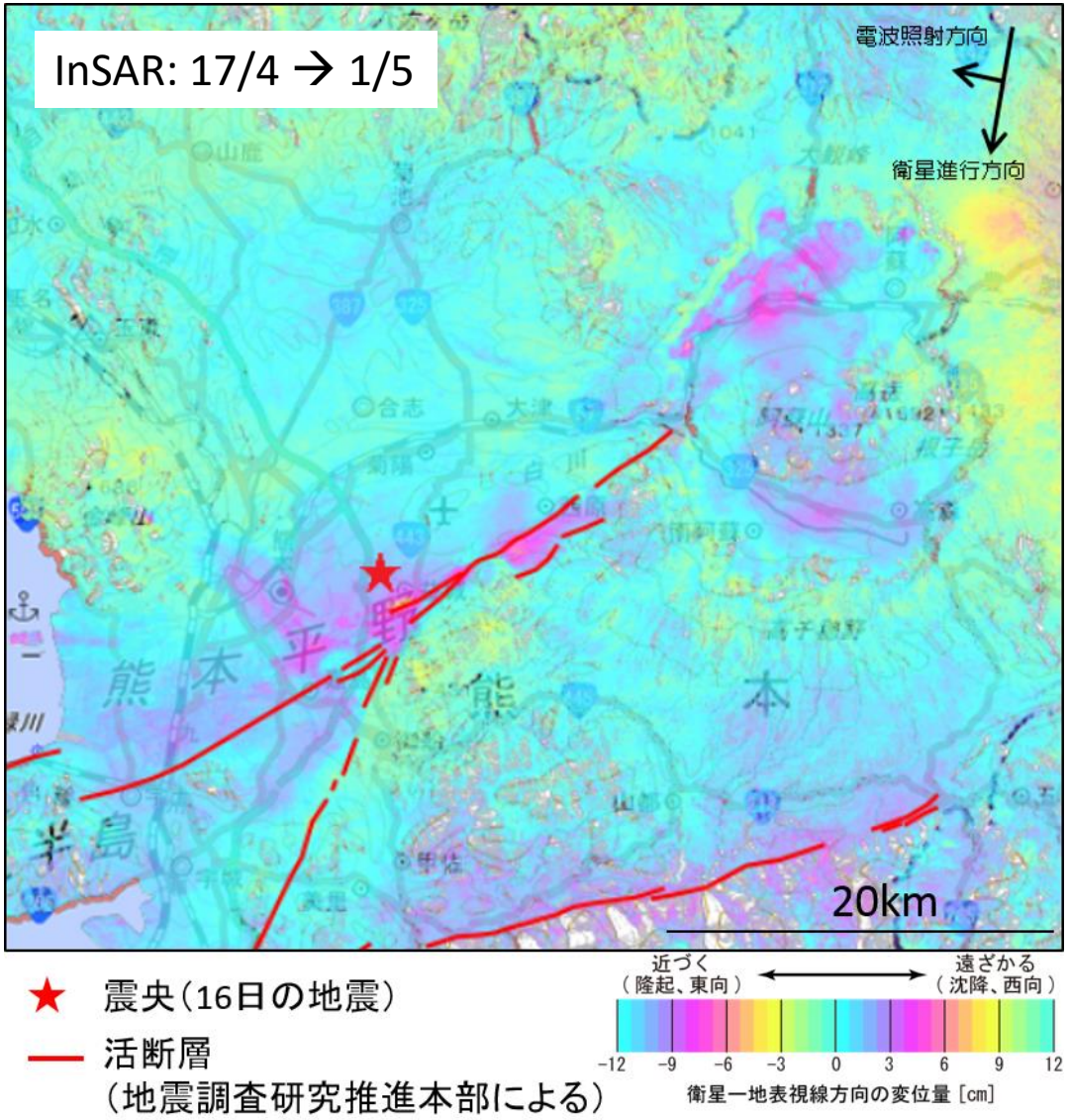



益城町における地表断層の位置と変位量
地表地震断層
変位方向と変位量
40-50 cm
活断層（都市圏活断層図）
堂園
210-220 cm
90-130 cm
20-50 cm
三竹
75-85 cm
50-60 cm
90-115 cm
益城町役場
40-50 cm
益城町
20-50 cm
田中トレンチ
田中
55 cm以上
木山川
15-35 cm
・益城町市街地南側に発達する平地の北縁と南縁に地表地震断層が出現した。
・北側の断層は西側の益城町の市街地に向かって変位量が減少し、消滅する。
・南側の断層は雁行状に出現し、南西へ連続する。また、その南側にも不連続な断層を伴う。
・それぞれの断層は北東側の堂園付近で収斂し、そこで最大変位量2.2mを持つ。
・田中トレンチで出現した活断層と、今回の地震断層が現れた位置は一致する。
国立研究開発法人 産業技術総合研究所
GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
地質調査総合センター
地理院地図（電子国土Web）使用
0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 2 km

Slip distribution



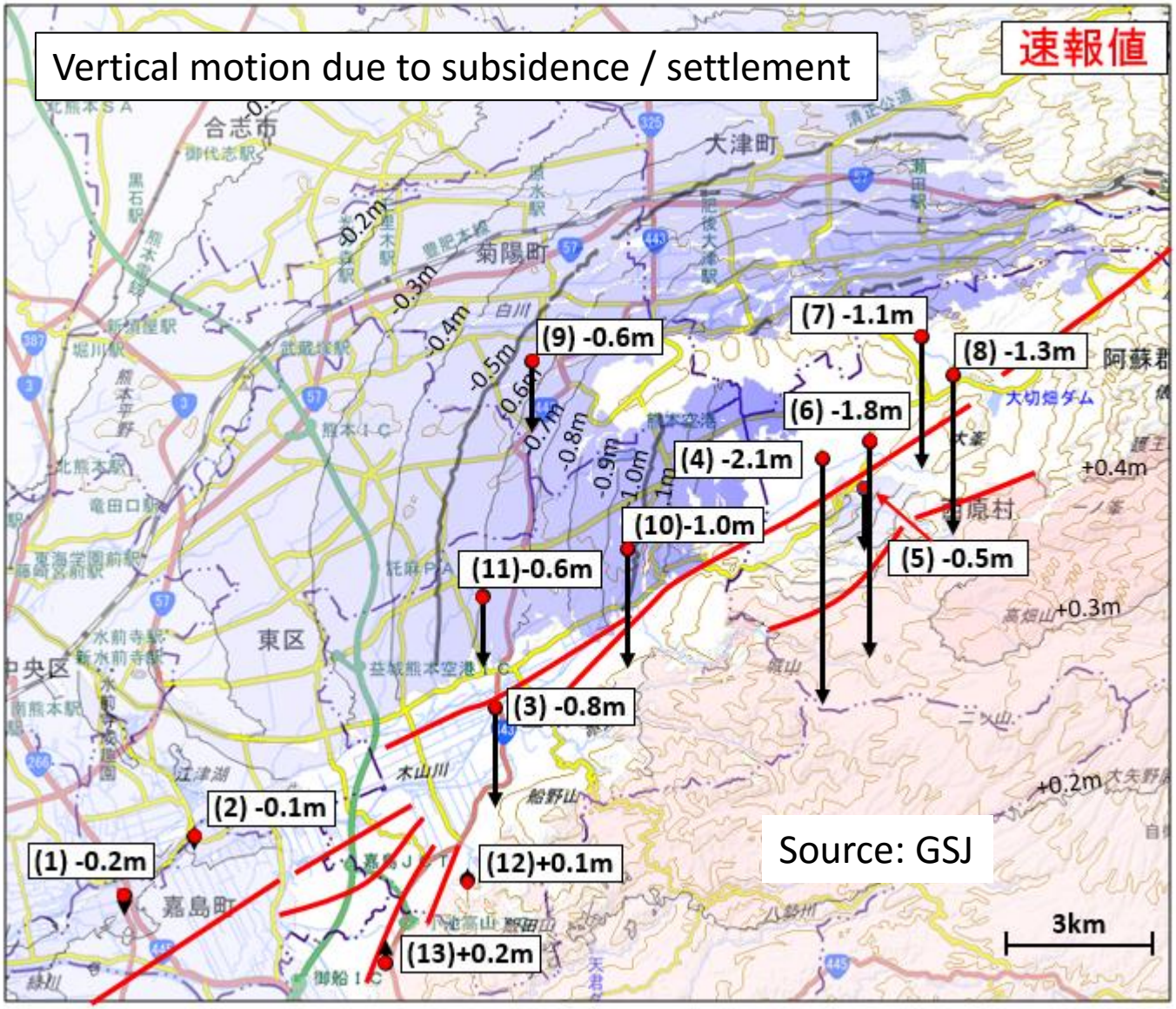
Post-seismic deformation



Source GSI

Post-seismic deformation

GPS campaigns: 21-22/4 → 3-5/5

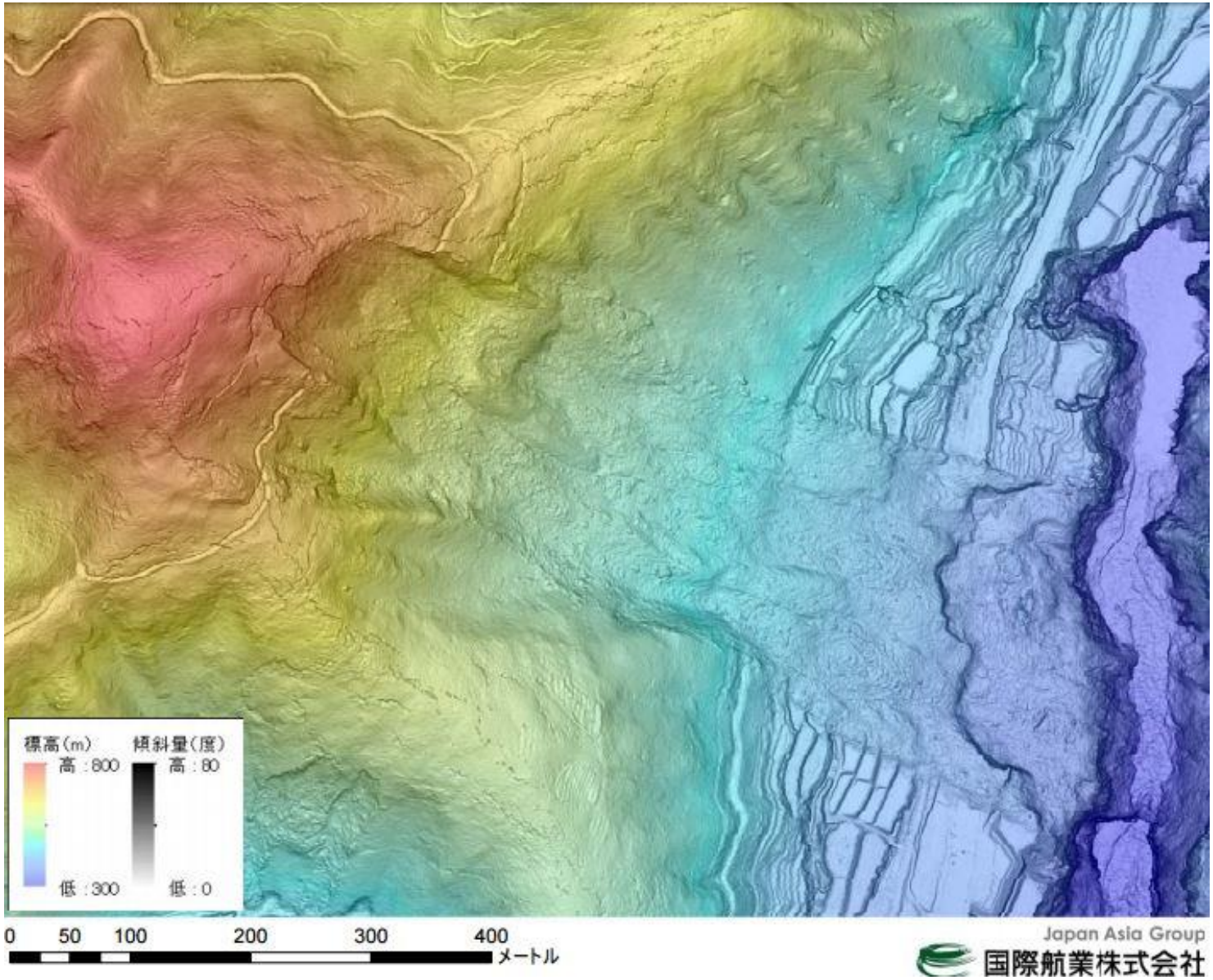


Landslides

Mimami-Aso
A landslide triggered by the Kumamoto earthquake, via Asia One, that destroyed an important bridge

Airborne LiDAR of the Mimami-Aso landslide

http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201604_kumamoto/



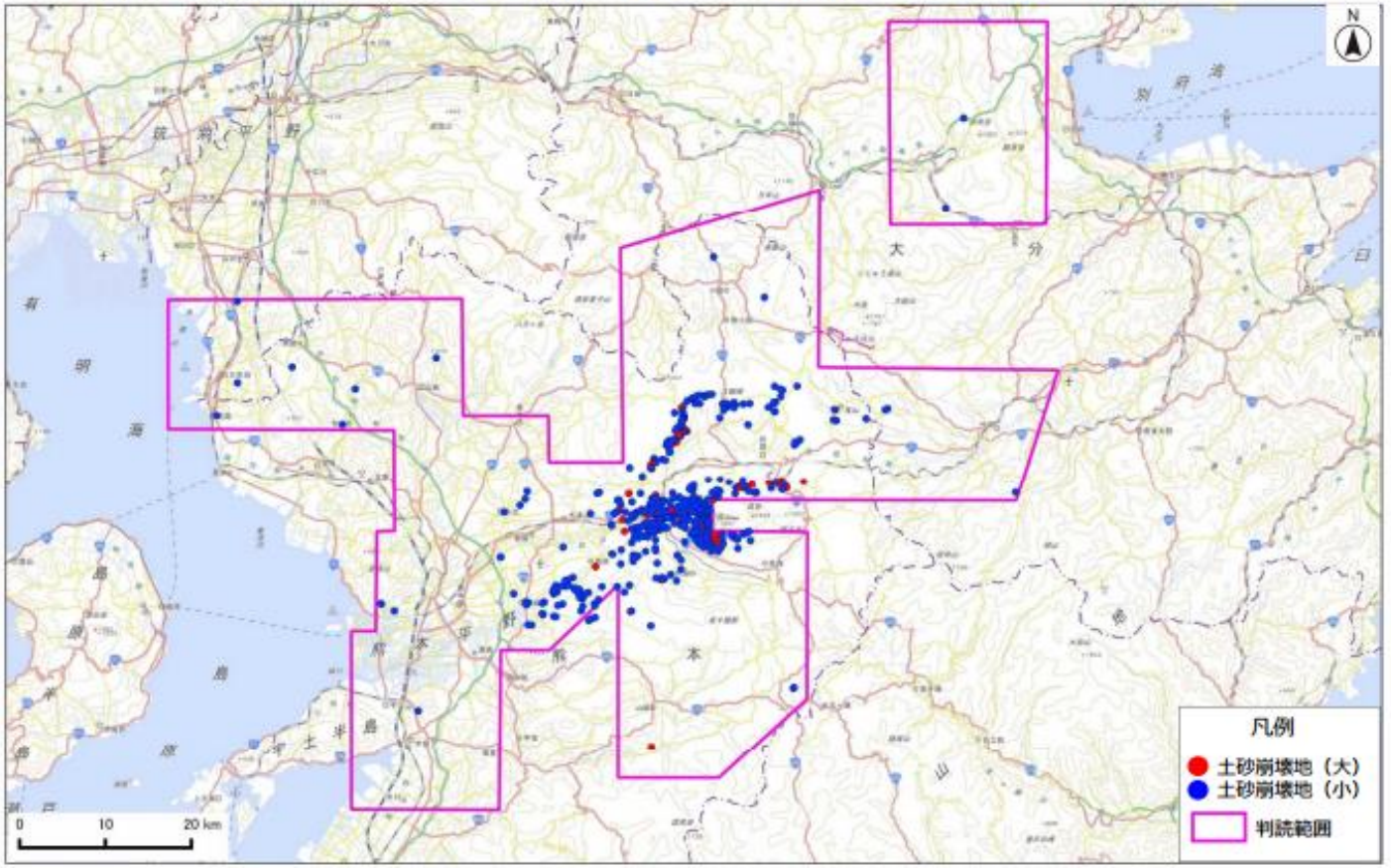
Damage to the Kurokawa Dai-ichi Power Station caused by the Kumamoto earthquake, via AFP

A flowslide triggered by the Kumamoto earthquake, via AP

A major cutslope failure on the Oita Expressway, triggered by the Kumamoto Earthquake, via AP

- Landslide map

平成28年熊本地震・空から見た（航空写真判読による）土砂崩壊地分布図



1．この地図は国土地理院が緊急に撮影した航空写真（4月16日、19日及び20日撮影）から、地震により生じた土砂崩壊地の分布を判読したものです。
現地踏査は実施しておらず、実際に崩壊のあった箇所でも把握できていない部分があります。
2．土砂崩壊地は、急傾斜地の崩壊、地すべり、土石流を1つの項目にまとめて表現しています。
3．土砂崩壊地（大）はおおむね1ヘクタール（サッカー場）以上、土砂崩壊地（小）はおおむね0.1ヘクタール（50mプール）～1ヘクタールのものを表しています。
4．土砂崩壊地の中心付近を丸で表しており、土砂崩壊地の形状を表現しているわけではありません。
5．崩壊が連続的に発生しているものを複数箇所として示している場合があります。
6．崩壊の発生を確認して、表記しているものであり、保全対象との関係などから土砂災害ではないものも含まれる場合があります。
7．今後の地震活動、降雨等により、土砂崩壊地の箇所数が増加する可能性があります。
8．正射画像の表示範囲外に土砂崩壊地が表示されることがありますが、当該地域の航空写真は、垂直写真から確認できます。

Source GSI

国土交通省 国土地理院

平成28年4月22日更新