

## 12-6 DInSARによる中規模内陸地震 (M5-6 クラス) の地表変位の検出 Surface rupture of the recent moderate earthquakes detected by DInSAR

青柳 恭平 (電力中央研究所 地球工学研究所 地圏科学領域)

Yasuhira Aoyagi, Geosphere Science Sector

Civil Engineering Research Laboratory

Central Research Institute of Electric Power Industry

### 1. はじめに

地表地震断層の長さや変位量は、地震規模と正の相関があることが経験的に知られている<sup>1), 2)</sup>。したがって、断層長を正確に計測できれば、地震時の変位量も予測できる可能性がある。たとえば、Wells & Coppersmith<sup>2)</sup> の式では、断層長に対する最大変位量は、100km(Mw7.4 相当)で4.57m、10km (同 Mw6.24) で44cm、1km(同 Mw5.08)で4.2cm と算出される。ただし、M7未満の地震の場合には、地表地震断層は必ずしも出現しないし、出現したとしても変位量が20~30cm程度では、山間部においてその長さや変位量を正しく計測するのは困難である。そのため、断層長と変位量との相関がどの程度小さな地震まで成り立つのかは解明されていない。

一方、近年では地震前後に取得された SAR (合成開口レーダ) 画像の差分干渉処理によって、断層運動に伴う地殻変動を面的に捉えることが可能となった。この技術によって、M6前後の地震についても、数10cmオーダーの地殻変動がしばしば捉えられている<sup>3), 4)</sup>。したがって、地表踏査で見落とされるような小規模の地表地震断層についても、定量的に評価できる可能性が高い。本研究では、1996年から2013年までに国内で発生したM6前後の地殻内地震(第1表、第1図)について、差分干渉 SAR 解析によって地表地震断層の検出を試みた上で、その長さや変位量の関係について検討した。

### 2. データと解析

使用した衛星データを第1表右列に示す。検討対象の震源域において取得された地震前後の SAR データの中から、基線長の短いペア、観測間隔が短いペアあるいはコヒーレンスが大きく干渉性の良好なペアを選択した。基本的にいずれの画像もシグナルデータとして入手し、複素画像化処理を施して差分干渉処理を行った。差分干渉処理では地形(比高差)により生じる干渉縞を除去して変動分の干渉縞を得るために、国土地理院の基盤地図情報を用いて ESRI ジャパン株式会社が作成・配布する10mメッシュ数値標高モデルを用いた。さらに、位相のアンラップ処理を行い、衛星の視線(LOS)方向での相対的な変位量分布に変換し、地表地震断層の長さや最大変位量を計測した。

### 3. 解析結果

一例として、2011年6月30日に長野県中部の深さ4kmで発生した横ずれ型の地震に関する解析結果を第2図に示す。この地震では、斜交する2条の不連続部が明瞭に認められた(第2図(a)(b))。これらの不連続部の分布は、余震分布ともよく一致している(第2図(c))。このうち、牛伏寺断層の約2km西側に分布する北北西方向の不連続部は、長さ約10kmに及び、これを境に最大9cmの食い違いが計測された(第2図(d))。この地震では負傷者15人、住家半壊3棟などの被害が生じているが<sup>5)</sup>、地表地震断層の出現は確認されていない。しかし、本解析結果は、地表にもなんらかの変

位が達していたことを示している。詳細に決定された余震分布から、今回の断層運動が牛伏寺断層とは異なるものであることが明らかにされている<sup>6)</sup>。日本を代表する主要な活断層帯において、堆積層下に未発見の断層が存在する可能性、および活断層帯の変位が複数の断層によって賄われている可能性を示唆する興味深い事例である。

同様の検討を全ての地震に対して行った結果を第1表の右から2列目と3列目に整理した。17地震のうち、12地震については断層運動に対応する地殻変動が検出された。そのうち、長さLを評価した8地震については、干渉縞に線状の不連続部が認められるため、地表地震断層が出現した可能性が高い。その長さ最大変位量の関係をプロットすると、両者にはやはり正の相関が認められた(第3図左)。ただし、計測された変位量は、地表変位量のLOS方向の成分であるため、実際の地表変位量はこれよりも大きくなる点に留意が必要である。たとえば、今回の衛星データ(入射角20~40°)で鉛直変位を捉えた場合には、実際の変位量は計測値の約1.15倍になる。本研究では、震源におけるスリップベクトルが地表変位の方向と一致するという仮定のもとで、LOS変位量を実変位量に換算することも試みた。この場合でも、最大変位量と断層長には正の相関が認められた(第3図右)。

#### 4. まとめと今後の課題

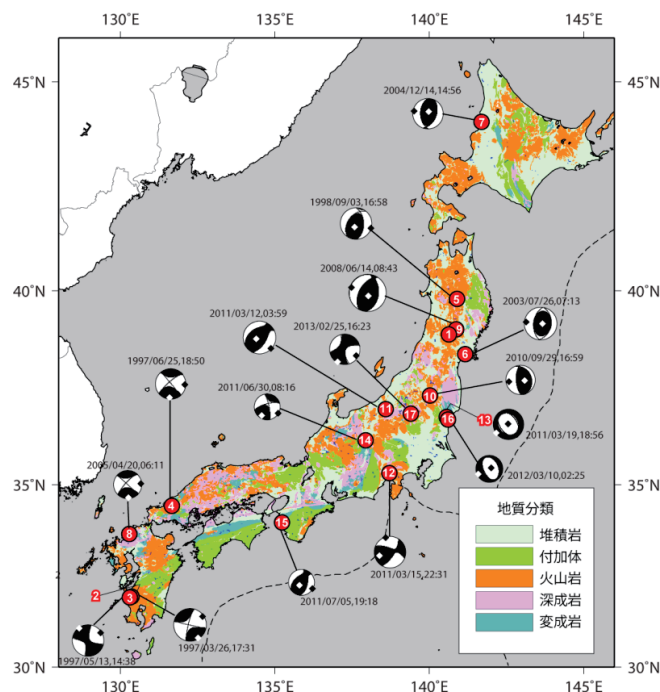
差分干渉SAR解析は、条件が揃えば長さ数km、変位量数cm程度の小規模な断層変位でも検出することが明らかになった。本研究の成果は、このような小規模の断層でも、その長さから地震時の変位量を予測できる可能性を示している。ただし、観測された地表変位の形態を詳細に検討すると、狭い範囲での撓曲変形を示唆するものも含まれており、厳密な意味での断層変位(rupture)とは区別すべきかもしれない。今後は、地震の特性(メカニズム解、深さなど)や地質条件が地表変位にもたらす影響を明らかにする必要がある。また、主断層だけでなく、副次的な断層についても同様の相関があるのかを検討し、断層長から変位量を予測するための適用条件を明確にしたい。

#### 参 考 文 献

- 1) 松田時彦(1975), 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震, 28, 269-283.
- 2) Wells, D. L. and K. J. Coppersmith(1994), New empirical relationships among magnitude, rupture, length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bull. Seismol. Soc. Amer., 84, 974-1002.
- 3) Yarai, H., T. Ozawa, T. Nishimura, M. Tobita, and T. Imakiire(2004), Crustal deformation associated with the northern Miyagi earthquake detected by RADARSAT-1 and ENVISAT SAR interferometry, Earth Planets Space, 56, 103-107.
- 4) Amarjargal, S., T. Kato, and M. Furuya(2013), Surface deformations from moderate-sized earthquakes in Mongolia observed by InSAR, Earth Planets Space, 65, pp.713-723,.
- 5) 気象庁(2012), 2011年6月30日の長野県中部の地震(M5.4)について, 予知連会報, 第87巻, 346-351.
- 6) 防災科学技術研究所(2012): 2011年6月30日長野県中部の地震, 予知連会報, 第87巻, 358-360.

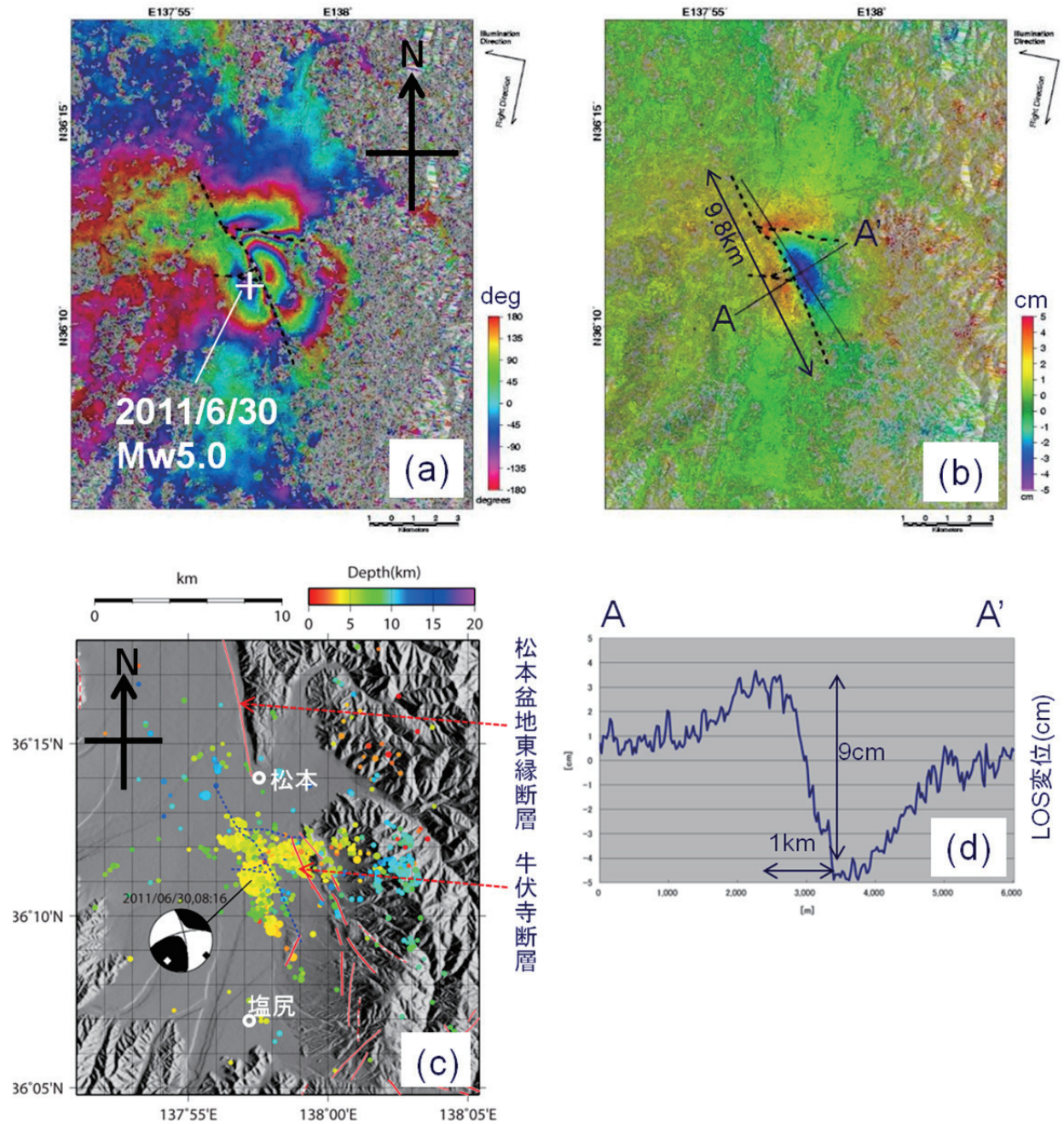
第 1 表 検討対象地震の一覧. L と  $D_{LOS}$  は, 推定された地表地震断層長と LOS 最大変位量.  
 Table 1 List of the target earthquakes. L and  $D_{LOS}$  means estimated fault length and maximum displacement of the surface, respectively.

No.	地震名	発生日	Mw	L(km)	$D_{LOS}$ (cm)	衛星・センサ
1	宮城県北部地震(鬼首)	1996/8/11	6.0	5	30	JERS-1 SAR
2	鹿児島県北西部地震	1997/3/26	6.1	-	17	JERS-1 SAR
3	鹿児島県北西部地震	1997/5/13	6.0	-	9	ERS-2 AMI
4	山口県北部地震	1997/6/25	5.8	-		JERS-1 SAR
5	岩手県内陸北部地震	1998/9/3	5.9	6.1	43	JERS-1 SAR
6	宮城県北部地震	2003/7/26	6.1	13.2	18	ENVISAT ASAR
7	北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14	5.7	-		ENVISAT ASAR
8	福岡県西方沖地震の最大余震	2005/4/20	5.4	-		ENVISAT ASAR
9	岩手・宮城内陸地震	2008/6/14	6.9	43.7	140	ALOS PALSAR
10	福島県中通りの地震	2010/9/29	5.5	4	19	ALOS PALSAR
11	長野県北部地震	2011/3/12	6.2	-	45	ALOS PALSAR
12	静岡県東部地震	2011/3/15	5.9	-	14	ALOS PALSAR
13	茨城県北部地震	2011/3/19	5.8	13.9	55	ALOS PALSAR
14	長野県中部地震(松本付近)	2011/6/30	5.0	9.8	9	ENVISAT ASAR
15	和歌山県北部地震	2011/7/5	5.0	-		ENVISAT ASAR
16	茨城県北部地震	2012/3/10	5.2	9.5	4	ENVISAT ASAR
17	栃木県北部地震	2013/2/25	5.8	-		RADARSAT-2 SAR



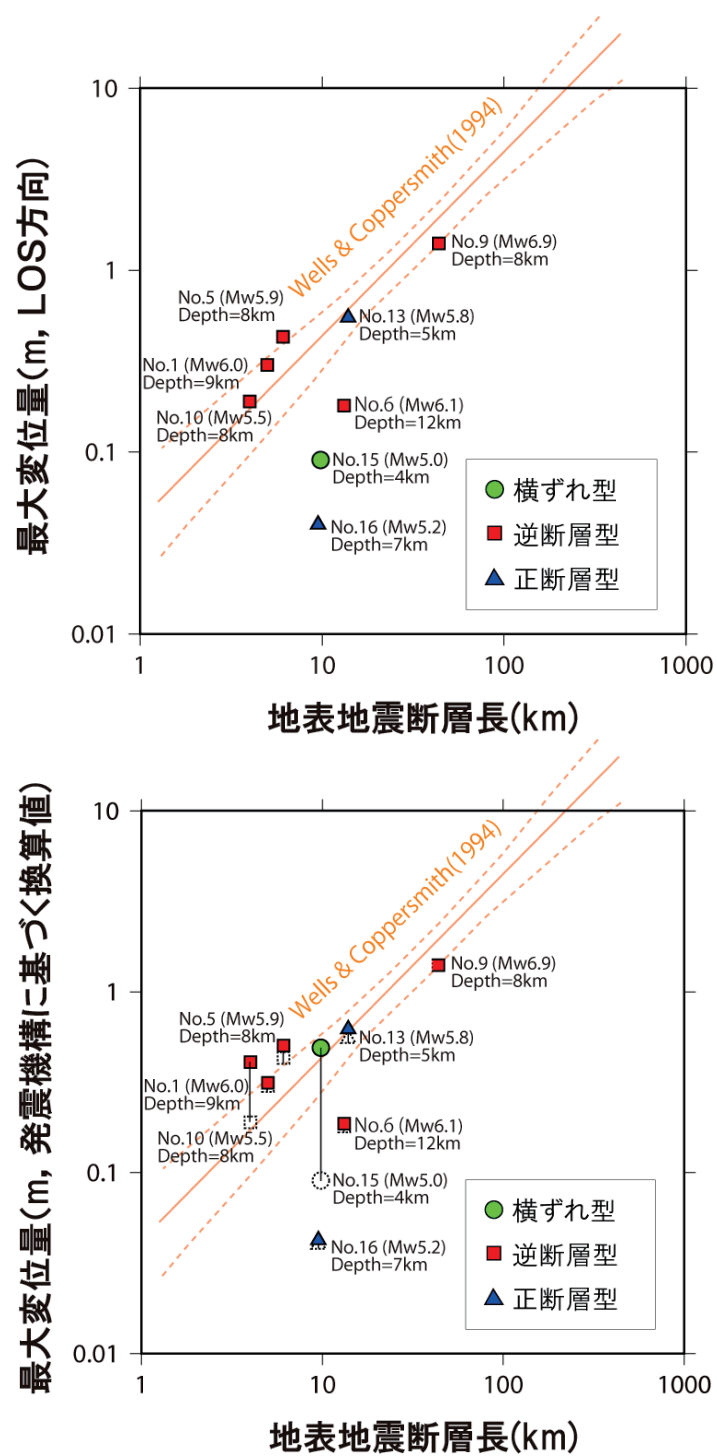
第 1 図 検討対象とした地殻内地震の発生位置とメカニズム解. メカニズム解は防災科学技術研究所の F-net による. 背景は地質分布を表す.

Fig.1 Location of the target earthquakes with F-net mechanism solutions. Background map shows geological distribution.



第2図 2011年6月30日長野県中部地震の差分干渉処理結果の例。(a)差分干渉処理結果。推定された断層を黒破線で示す。(b)アンラップ処理後の分布 (c)地形陰影図に重ねた余震分布。赤実線は活断層。青破線は(a)(b)で推定された断層位置。(d) A-A'断面での変位量分布。

Fig. 2 Example of DInSAR analysis on the Mid-Nagano Earthquake on June 30<sup>th</sup>, 2011. (a)Differential interferogram. Black broken line indicates the estimated fault. (b)LOS displacement distribution after unwrapping. (c)Aftershock distribution on shaded relief topographic map. Red solid lines indicate active faults. Blue broken line shows estimated fault location. (d)LOS displacement profile along A-A'.



第3図 最大変位量と地表地震断層長の関係。(上) LOS 方向の最大変位量。(下) 発震機構から地表変位の方向を仮定して換算した変位量。

Fig.3 Relationship between surface rupture lengths and maximum displacements. (Upper) LOS maximum displacement. (Lower) Estimated real displacement calculated by slip vector of their mechanism solutions.