

2008年岩手・宮城内陸地震後の 一関市巖美町中川地区における地表余効変動についての検討 —住民証言, 航空レーザー測量および現地測量から—

Postseismic surface deformation at Nakagawa, Gembi Town, Ichinoseki City,
associated with the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake: constraints from
eyewitness interviews, airborne LiDAR data, and on-site surveys

金田 平太郎¹・粟田泰夫²・丸山 正²・林 舟²

Heitaro Kaneda¹, Yasuo Awata², Tadashi Maruyama² and Zhou Lin²

¹ 活断層研究センター, 現在 千葉大学大学院理学研究科地球科学コース (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault Research Center; Now at Department of Earth Sciences, Chiba University, kaneda@faculty.chiba-u.jp)

² 活断層・地震研究センター (AIST, GSJ, Active Fault and Earthquake Research Center)

Abstract: The 2008 M 7.2 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, northeast Japan, was accompanied by distinct but isolated surface ruptures that are roughly aligned along the southeastern margin of the distributed aftershocks. Eyewitness interviews indicate that the surface slip and deformation substantially grew following the mainshock in and around Nakagawa, Gembi Town, Ichinoseki City. Our analysis and comparison of airborne LiDAR data and on-site total station surveys, however, reveal that no significant postseismic surface slip occurred after the day following the mainshock. If the eyewitness accounts are reliable, our result suggests that the postseismic deformation at Nakagawa completed within only one day, which is inconsistent with GPS observations that reveal more than 20 days of substantial postseismic slip. This discrepancy may indicate that the localized postseismic deformation observed at Nakagawa has nothing to do with that detected by the GPS network. Alternatively, the postseismic deformation may have been localized and visible only when a rate of the deformation exceeded a threshold, i.e., for a day or less after the mainshock.

キーワード: 2008年岩手・宮城内陸地震, 地表地震断層, 余効変動, 航空レーザー測量

Keywords: 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, surface rupture, postseismic deformation, airborne LiDAR

1. はじめに

2008年(平成20年)6月14日午前8時43分に発生した岩手・宮城内陸地震(気象庁マグニチュード7.2)後の現地調査により, 余震域の南東縁にほぼ沿う長さ約20 kmの区間内の複数箇所で, 水田や山地斜面を変位させる概ね北西側隆起の地表地震断層が発見された(第1図; 例えば, 吉見ほか, 2008; 石山ほか, 2008). これらの地表地震断層の全容および各箇所の変状の基本的な記載については別稿にて報告するが(遠田ほか, 2009), 本稿では, 地震後に地表変位・変形が成長したとの住民証言が得られた一関市巖美町中川地区(第1図)に焦点を絞って詳しく報告する. まず, 中川地区で確認された地表変状と住民証言について述べたあと, 地震翌日に実施された航空レーザー測量の結果とその後の現地測量結果の比較から変位・変形の成長の有無やその時期について検討し, 最後に, GPS観測が捉えた余効す

べり等も併せて若干の考察を行う.

2. 中川地区の地表変状

2.1 6月22日(地震7日後)における地表変状

岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層は全般に断続的・散在的であったが, 奥州市衣川区餅転から磐井川を越えて一関市巖美町柵木立にかけての約7 kmの区間については, 変位基準の乏しい山地・丘陵部分を除き, 比較的連続的に地表地震断層が追跡された(第1図; 石山ほか, 2008). この区間で確認された地表地震断層は, 北西側隆起の逆断層を主体とし, 上下変位は50 cm程度以下であった. 中川地区はこの断層区間の中央やや北寄りに位置し, ここでは, 磐井川の支流, 本寺川沿いの幅狭い低地に水田が広がっている(第2図).

我々が中川地区において地表地震断層を発見したのは, 地震7日後の2008年6月22日である. 本寺

川左岸沿いの未舗装林道に西側上がり 20~30 cm 程度の段差が生じており (第 2 図の Loc. 1; 第 3 図 A), その段差は南側の休耕田に連続していた。その南方延長上にある本寺川左岸のブロック擁壁には短縮による座屈破壊が認められ (同 Loc. 2; 第 3 図 B; 短縮量 15 cm 程度), 川を越えてさらに南側の休耕田の東端付近にも緩やかな段差の連続が認められた。

これらの一連の地表地震断層とは別に, その西側約 100~300 m の範囲の水田には, 南南東ないし南方向への傾動が広く認められた。特に, 第 2 図 Loc. 3 では, 南北長さ約 70 m の水田が南へ大きく傾動し, ほぼ水平であったはずの水田に約 50 cm の高度差が生じていた (後述のトータルステーション測量による)。この傾動による水田の干上りを最小限にするため, もともと 1 枚であったこの水田は簡易間仕切りによって 4 枚の水田に分割されている (第 3 図 C)。一方, そのすぐ西側の Loc. 4 の水田は, 南方向へ傾動するとともに, その北縁部付近はわずかながら逆方向 (北方向) に傾動しており, 全体としては東西方向を軸とする背斜状変形を被っていた (第 3 図 D)。

さらにその西側, 本寺川右岸には第三系と考えられる成層したシルト岩が露出しており, 南西に傾斜する層理面 (N70°W, 24°S) に沿って新鮮な変位が生じていた (第 2 図 Loc. 5; 第 3 図 E)。この層理面より上位の地層がオーバーハングする形で最大約 18 cm せり出しており, 断層擦痕の方向からほぼ純粋な逆断層変位が生じたことが分かる (第 3 図 F)。地すべり末端の局所的圧縮場に伴う変位である可能性も完全には否定できないが, 周囲の地形状況や水田の変形の存在から判断して, テクトニックな変形を反映したものである可能性が高いと考えられる。

2.2 変位・変形の成長に関する住民証言

中川地区において地表変状を発見した 6 月 22 日に, これらの変状の多くが地震直後より大きく成長しているとの以下のような証言が, 第 2 図左端の家 (この付近で唯一の世帯) の住人の方から得られた。

(1) Loc. 1 の林道の段差は地震直後はせいぜい 10 cm 程度でほとんど気づかない程度であったが, 今では 20~30 cm くらいの大きな段差になっている。

(2) Loc. 4 の水田の盛り上がり (背斜状変形) は, 地震直後よりも大きくなっている。

(3) Loc. 5 の露頭の変位は, 地震直後は 5 cm もない程度であったが, 現在は 15 cm くらいになっている。

これらの証言は同一人物の目測に基づくもので, 「地震直後」が具体的にいつを意味するのかについても記憶・証言ははっきりしない。しかし, 複数箇所について証言が得られたことや, 成長量が 2~3 倍以上と大きいことから, これらすべてが証言者の錯覚であったとはやや考えにくい。少なくとも中川地区においては, 地震直後から地震 7 日後までの間に,

何らかの地表変位・変形の成長があった可能性が考えられる。

なお, 中川地区以外で確認された地表地震断層については, 変位や変形が地震後大きく成長したとの具体的な証言は得ていない。

3. 測量方法・データ

本論では, 中川地区における変位・変形の成長の有無やその時期・量を調べるため, 6 月 15 日 (地震翌日) 実施の航空レーザー測量データ, 6 月 22 日 (地震 7 日後, 証言の得られた日) 実施の現地測量データ, および 7 月 2 日 (地震 17 日後) 実施の現地測量データを用いた。以下, これらの測量方法・データについて述べる。

3.1 6 月 15 日 (地震翌日) 実施の航空レーザー測量データ

地震翌日の 6 月 15 日, 朝日航空株式会社により地すべりの多発した磐井川沿いや荒砥沢ダム周辺を中心とした航空レーザー測量が実施されたが, 幸い, 測量範囲にのろろじて中川地区が含まれていた。そこで, この測量データの中川地区周辺部分を同社から購入し, 後述する現地測量データとの比較を試みた。航空レーザー測量の使用機材・主要諸元は第 1 表に示す通りである。この測量の上下方向の絶対誤差は約 30 cm であるが, 相対的なばらつきは数 cm 程度であり (渋谷, 2009), 10~20 cm 以下のわずかな傾動であっても捉えられる可能性が十分にあると考えられる。なお, 当日の中川地区の測量時間は, 飛行・測量記録から午前 9 時 59 分~10 時 3 分の間と推定され, これは本震の約 25 時間後にあたる。

比較に用いたデータは, 測量ランダム点群データから, 地物除去フィルタリングを行うことなく直接作成された 1 m グリッドのデジタル標高モデル (digital elevation model; DEM) である。比較対象とするのは上空の開けた水田の変形であるため, 地物除去フィルタリングを行っていないデータであっても, 地表変形は捉えられると考えられる。厳密には, 地面以外に水面や苗で乱反射したレーザーパルスも帰ってくるため, このことによるデータのばらつきが生じることが想定されるが, 水田全体の変形や傾動を捉える上においては大きな障害にはならないと考えられる。ただし, 傾動低下側末端部においては地面が深く水没している可能性があり, レーザー測量では原理的に水面下の地形は捉えられないため, この部分の傾動を捉えられない, あるいは過小評価する可能性がある。

3.2 6 月 22 日 (地震 7 日後) における現地測量

変位・変形の成長に関する住民証言を受け, 証言を得た時点 (6 月 22 日時点) での変位・変形を記録

するためのトータルステーション測量を行った。

Loc. 1の林道の段差については、段差を挟んだ両側にたつ電柱の側面にマジックペンでマークをつけ(B-1およびB-2;第2図),この仮設ベンチマークの高度差を測量して、その後段差が成長すれば検知できるようにした。

Loc. 3とLoc. 4の傾動・変形した水田については、それぞれの田の外周の畦から内側1m程度の位置の水田土壌表面の位置・高度を2~5m程度の間隔で測量した(測定点を第4図上図に黒点で示す)。水面下の水田土壌は非常に柔らかくターゲットポール先端が沈んでしまうため、厳密には、すべての測定点について、ポール石突部分がちょうど水田土壌下に沈む位置で測量を行った。また、これらの水田周辺のコンクリートブロックや土管などを用いて計5点の仮設ベンチマークを設け、これらの相対高度も測量した(B-3~B-7;第4図上図)。

トータルステーションそのものの測量誤差は3mm以下であり、トータルステーションやターゲットポールの設置誤差を考慮しても、測量誤差は1~2cmを超えることはないと推定される。したがって、高度差数cm以上の傾動を本測量によって捉えることは十分に可能と考えられる。

3.3 7月2日(地震17日後)における現地測量

7月2日(地震17日後)にふたたび現地を訪れた際に、6月22日に設置した計7点の仮設ベンチマークについて、トータルステーションを用いた再測を行った。

4. 測量データの比較

4.1 地震翌日~7日後間の比較

地震7日後に行った現地トータルステーション測量の結果(平面図と南北投影断面図)を第4図に黒丸プロットで示す。Loc. 4の水田に認められた背斜状の変形は、水田西縁・東縁の断面(それぞれa-a'およびb-b')いずれにおいても明瞭には捉えられていない。a-a'は南半分が南側へ15cm程度傾動しているが、北半分はほぼ水平で北方向への傾動はほとんど認められない。b-b'は北ほど緩傾斜となるものの、全体として30cm近い南への傾動が認められる。現地の観察では、背斜状変形は水田中央部付近で最も顕著であり(第3図D)、水田外周縁辺のみの測量では、この変形がうまく捉えられなかったものと推定される。一方、Loc. 3の水田の南への傾動は、この水田西縁・東縁いずれの断面でも明瞭に捉えられており(c-c'およびd-d')、水田全体が高度差にして40~50cm傾動している様子がよく分かる。ただし、いずれの断面においても、南側部分で緩傾斜となる傾向が認められる。

これらの現地測量断面に対し、地震翌日の航空

レーザー測量データの内挿処理により、それぞれの断面におおよそ対応する南北投影断面図を作成した(第4図L-1~L-4の白抜丸プロット)。また、中川地区の変形帯から十分西に離れた任意の水田の断面2例も併せて作成した(第4図右下)。変形帯から離れた水田断面には10~20cmのばらつきが認められるものの、全体としてはほぼ水平を保っている。一方、中川地区の断面はいずれも、ばらつきながらも全体傾向としては明らかに水平から乖離しており、今回用いた航空レーザー測量データにより20cmないしそれ以下の傾動が捉えられていることが分かる。

航空レーザー測量データによる断面と現地測量断面を比較すると、両者は形態・変形量ともにほぼ一致する。地震翌日の断面の方が数cm程度傾動量・変形量が小さいようにも見えるが、既述の通り、航空レーザー測量では傾動低下側の水没部で傾動量が過小評価されている可能性があるため、この差が有意かどうかは判断できない。したがって、本比較からは、地震翌日から7日後の間には傾動・変形の成長はほとんど生じなかったか、生じていたとしてもその量は数cm以下であったと推定される。

なお、第4図には航空レーザー測量データによるLoc. 4の水田中央部の南北投影断面も示したが(L-c)、この断面においては背斜状の変形が明瞭に捉えられている。

4.2 地震7日後~17日後間の比較

Loc. 1の段差両側のベンチマーク(B-1およびB-2;第2図)、およびLoc. 3の水田周辺のベンチマーク(B-3~B-7;第4図)の地震7日後(6月22日)と17日後(7月2日)における高度測量結果を第2表に示す。両者の相違はすべてのベンチマークで2cm以内に収まっており、地震8~18日目の期間にも、変位・変形の有意な成長はなかったと推定される。

また、Loc. 5の層理面すべり断層の変位量についても、地震7~17日後の期間で成長は認められなかった。

5. 考察

中川地区における航空レーザー測量および現地測量の結果から、地震翌日(本震の約25時間後)~7日後、7日後~18日後のいずれの期間においても、地表変位・変形の有意な成長はなかった可能性が高いと推定される。地震直後~7日後の間に変位・変形が2~3倍以上成長しているという住民の証言が真実ならば、この成長の大部分は地震後約25時間以内に急速に起こったことになる。

一方、GPS連続観測データの解析からも、この地震に伴って顕著な余効変動があったことが指摘されている(2008岩手・宮城内陸地震緊急観測グループ/東北大学大学院理学研究科, 2008a, b; Iinuma et

al., 2008). インバージョン解析による断層面上の余効すべり分布によると、中川地区を含む鉾転〜爪木立付近直下で大きなすべりが生じており、その中でも中川付近直下のすべり量が最も大きい (40 cm 以上; 2008 岩手・宮城内陸地震緊急観測グループ/東北大学大学院理学研究科, 2008a). 地表で余効変動に関する具体的証言が得られたのは中川地区のみであり、両者の位置関係は良い対応を示す. しかし, GPS 観測によって捉えられた余効変動は, 地震後指数関数的に減速しているものの, 少なくとも 20 日間程度にわたって顕著に進行しており, 中川地区における余効変動の進行とは大きく継続時間 (時定数) が異なっている.

この継続時間の相違の原因については, ふたつの説明が考えられる. 第一に, GPS 観測が捉えた余効変動と地表観察による変位・変形の成長は全く無関係である可能性が考えられる. その場合, 両者の位置関係の対応は偶然ということになるが, インバージョン解析結果の位置精度や住民証言の信憑性を考慮に入れると, そうした可能性も否定出来ない. 第二に, GPS 観測が捉えた余効変動と地表観察による変位・変形の成長の間には関連があるものの, 両者の対応が 1 対 1 でない可能性が考えられる. GPS 観測と地表観察の捉えうる変形の波長はそもそも大きく異なるので, 空間的にも時間的にも両者が完全に一致しないことはむしろ当然であろう. 例えば, GPS 観測で捉えられる長波長の余効変動速度 (あるいは地下の断層面における余効すべり速度) が十分に大きいとき (地震後 1 日以内) にのみ, 余効変動が局在化して地表観察で捉えられたのかもしれない. しかし, 現時点ではこれらの説明のいずれが正しいかは判断できない.

また, サンアンドレアス断層系のような, 平均変位速度が大きく, 部分的にクリープ変位が認められるような「滑りやすい」活断層においては, これまでも, 地震に伴う顕著な余効すべりが地表観察・測量から報告されている (例えば, 1979 年 Imperial Valley 地震, Sharp *et al.*, 1982; 2004 年 Parkfield 地震, Rymer *et al.*, 2006). しかし, 平均変位速度の小さな活断層による内陸地殻内地震では, これまで, 地表観察で容易に認識できるような顕著な余効変動はあまり知られておらず, 火山地帯における大地震という今回の地震の特異性を表す現象のひとつと捉えられるかもしれない.

余効変動についての今後の事例蓄積や理論・モデリング研究が望まれる.

6. まとめ

一関市巖美町中川地区では, 岩手・宮城内陸地震直後から 7 日後までの間に地表変位・変形が大きく成長したとの住民証言が得られた. しかし, 航空レー

ザー測量データおよび現地測量データの検討から, 少なくとも地震翌日以降は地表変位・変形に有意な成長は認められないことが明らかとなった. 上記の住民証言が真実であれば, 中川地区における余効変動は地震後 1 日以内に急速に進行したことになり, 地震後 20 日間以上にわたって顕著な余効すべりが生じたとする GPS データの解析結果とは余効変動の継続時間が大きく異なる. 両者が全く無関係である可能性や, 余効変動速度が十分に大きいときのみ変動が局在化して地表観察で捉えられた可能性が考えられるが, 現時点ではその理由は特定できない.

謝辞 中川地区の住民の方には, 地表変位・変形の成長に関する貴重な証言をいただいた上, 水田等の現地測量を快く許可していただきました. 朝日航洋の渋谷研一氏には, 本論で用いた航空レーザー測量の諸元や精度, 実施時間について情報をいただきました. また, 吉岡敏和, 桑原保人両氏のコメントにより本稿は改善されました. ここに記して, 御礼申し上げます.

文 献

- Iinuma, T., Ohzono, M., Ohta, Y., Miura, S., Ueki, S., Takatsuka, K., Tsushima, H., Tachibana, K., Matsushima, T., Nakamoto, M., Yamashita, Y., Sagiya, T., Ozawa, K., Fukuda, M., Asahi, Y., Kasahara, M., Takahashi, H., Yamaguchi, T. and Nakao, S. (2008) Postseismic deformation associated with the Iwate-Miyagi Nairiku earthquake in 2008, Programme and abstracts The 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall Meeting of Seismological Society of Japan, 21 (A22-13).
- 石山達也・今泉俊文・越谷 信・杉戸信彦・堤 浩之・廣内大助・丸島直史 (2008) 2008 年岩手宮城内陸地震で一関市爪木立に出現した地表地震断層, 活断層研究, 29, 口絵 iv.
- Rymer, M. J., Tinsley, III, J. C., Treiman, J. A., Arrowsmith, J. R., Clahan, K. B., Rosinski, A. M., Bryant, W. A., Snyder, H. A., Fuis, G. S., Toké, N. A. and Bawden, G. W. (2006) Surface fault slip associated with the 2004 Parkfield, California, earthquake, Bull. Seismol. Soc. Am., 96, S11-S27.
- Sharp, R. V., Lienkaemper, J. J., Bonilla, M. G., Burke, D. B., Fox, B. F., Herd, D. G., Miller, D. M., Morton, D. M., Ponti, D. J., Rymer, M. J., Tinsley, J. C., Yount, J. C., Kahle, J. E., Hart, E. W. and Sieh, K. E. (1982) Surface faulting in central Imperial Valley, USGS Profess. Pap., 1254, 119-143.
- 渋谷研一 (2009) 岩手・宮城内陸地震について, 日本測量協会関東支部報, 35, 35-39.

2008年岩手・宮城内陸地震後の一関市巖美町中川地区における地表余効変動についての検討
 -住民証言, 航空レーザー測量および現地測量から-

遠田晋次・丸山 正・吉見雅行・小俣雅志・郡谷順英・山崎 誠 (2009) 2008年岩手・宮城内陸地震の地震断層と地質境界断層との関係ー岩手県一関市巖美町産女川沿いの断層露头ー, 活断層研究, 30, 47-53.

遠田晋次・丸山 正・吉見雅行・金田平太郎・栗田泰夫・吉岡敏和・安藤亮輔 (2009) 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層ー震源過程および活断層評価への示唆ー, 地震第二輯, 印刷中.

吉見雅行・遠田晋次・丸山 正 (2008) 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地震断層ー最大右横ずれ量

4-7mの荒砥沢ダム北方地震断層トレースー, 活断層研究, 29, 口絵 i-ii.

2008年岩手・宮城内陸地震緊急観測グループ/東北大学大学院理学研究科 (2008a) 2008年岩手・宮城内陸地震について, 第178回地震予知連絡会資料, http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp/download/yochiren/siryo/178_1.pdf.

2008年岩手・宮城内陸地震緊急観測グループ/東北大学大学院理学研究科 (2008b) 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震について, 地震予知連絡会会報, 81, 172-181.

(受付: 2009年7月31日, 受理: 2009年8月28日)

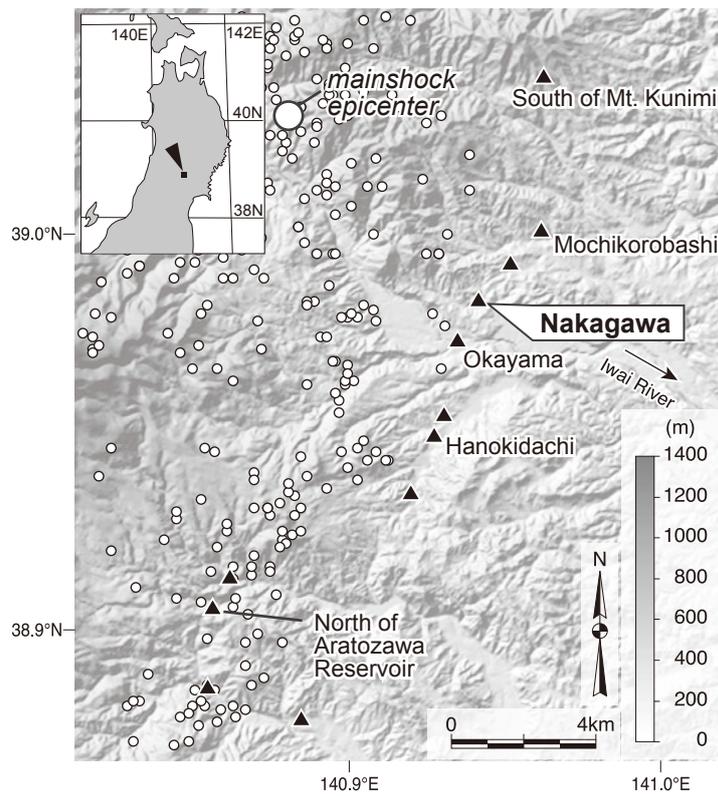
第1表. 航空レーザー測量の諸元.
 Table 1. Specifications of the airborne LiDAR survey.

| | |
|------------------------------|---------------------------------|
| Survey date | June 15, 2008 (local time) |
| Survey time of Nakagawa area | 9:59-10:03 am (local time) |
| Surveying instrument | Optec ALTM3100 AG4 |
| Aircraft | Eurocopter AS350BA (Helicopter) |
| Flight altitude | ca. 900 m |
| Flight speed | 140 km/h |
| Scan angle | 56 degrees |
| Scan rate | 32 Hz |
| Pulse rate | 70000 Hz (narrow beam) |

第2表. 地震7日後(6月22日)と17日後(7月2日)における仮設ベンチマークの高度測量結果. B-1およびB-3を基準とした相対高度を示した.

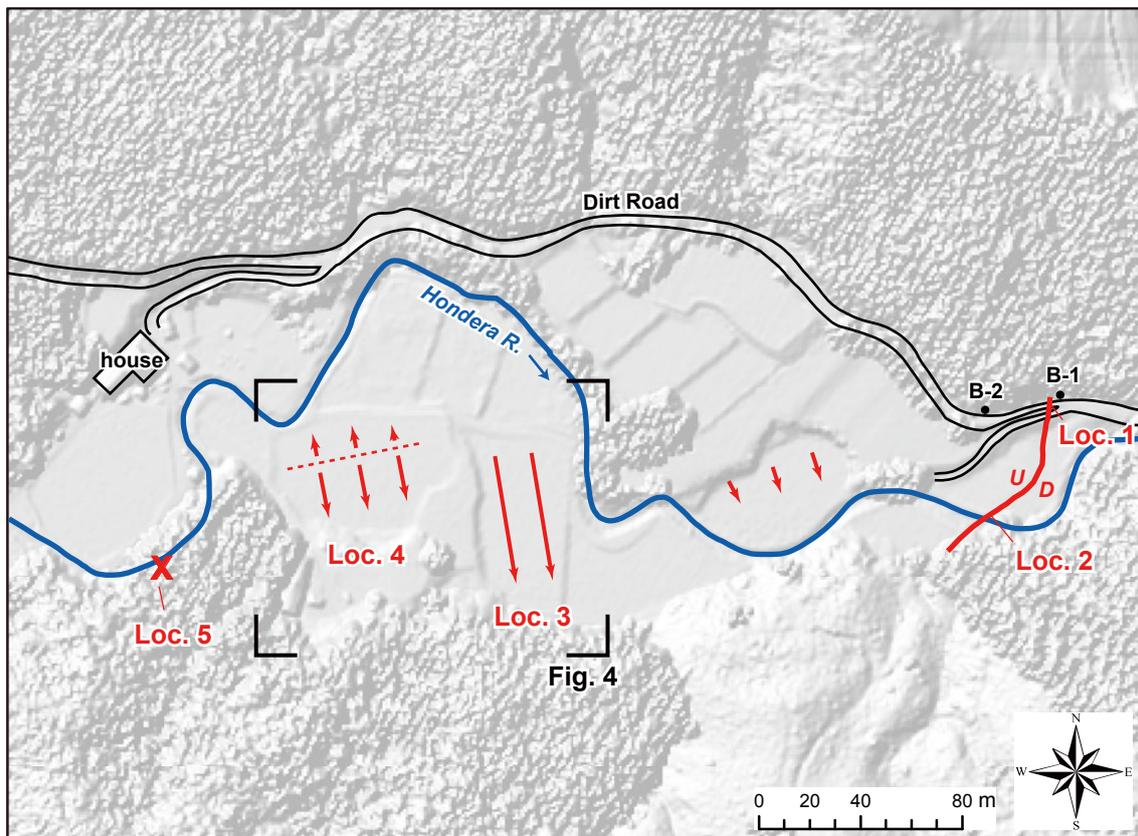
Table 2. Result of benchmark-height surveys 7 days (June 22) and 17 days (July 2) after the earthquake. Shown are heights relative to those of B-1 and B-3.

| | relative height | | difference |
|------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|
| | 7 days after EQ (June 22) | 17 days after EQ (July 2) | |
| B-1 | 0.000 m | 0.000 m | 0.000 m |
| B-2 | 2.791 m | 2.807 m | +0.016 m |
| B-3 | 0.000 m | 0.000 m | 0.000 m |
| B-4 | 0.170 m | 0.155 m | -0.015 m |
| B-5 | 0.421 m | 0.401 m | -0.020 m |
| B-6 | 1.960 m | 1.944 m | -0.016 m |
| B-7 | 2.031 m | 2.017 m | -0.014 m |



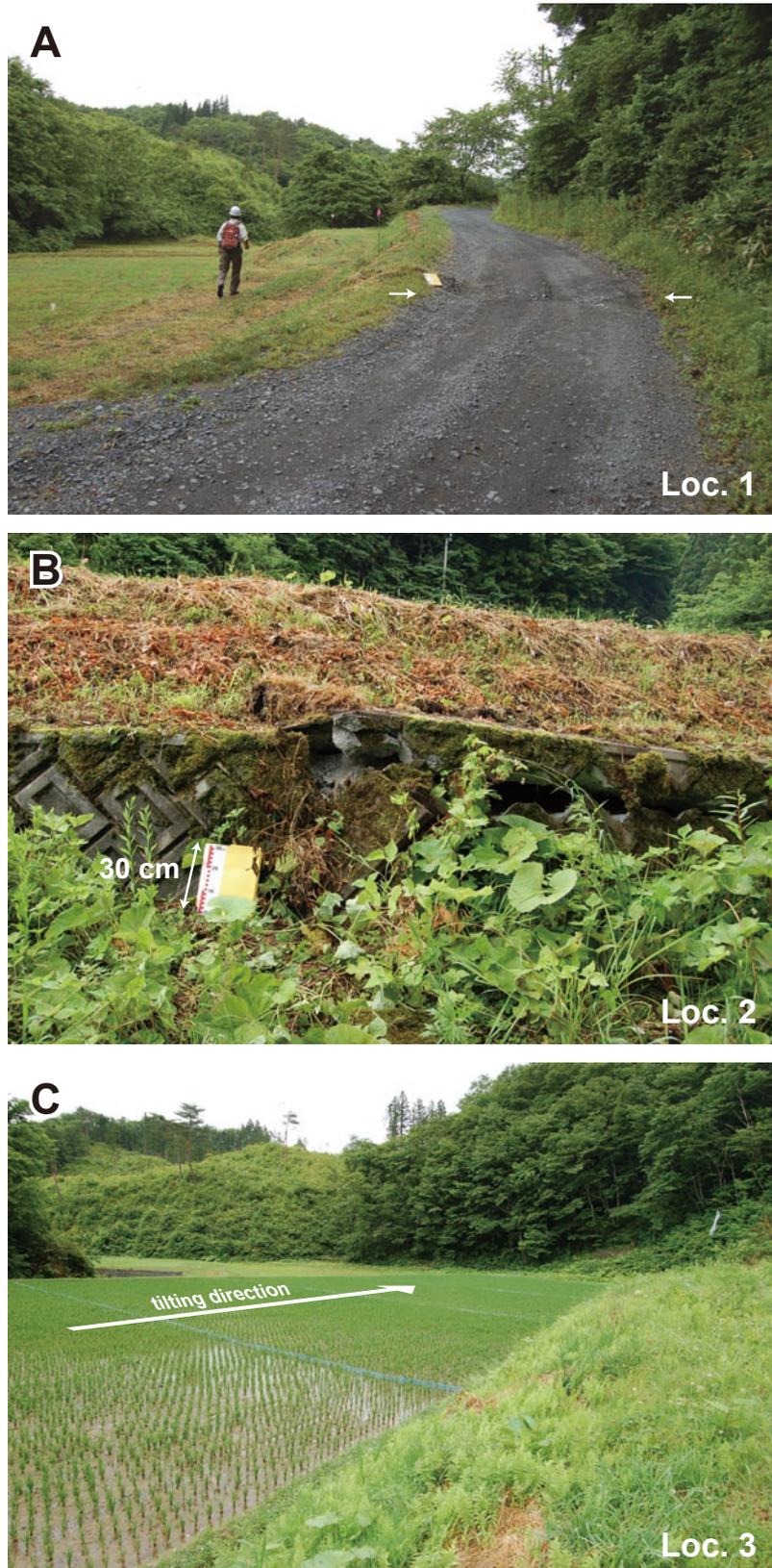
第1図. 岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層の出現位置(図中の黒三角)および中川地区の位置. 白抜丸は本震および余震の震央分布(2008年6月14日8:43~2008年6月18日23:59)を示す. 背景の地形陰影図は国土地理院の50mメッシュ標高データ, 地表地震断層の出現位置は遠田ほか(2009), 本震および余震の震央位置は気象庁一元化処理震源要素に基づく.

Fig. 1. Locations of surface ruptures associated with the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake (solid triangles; Toda *et al.*, 2009). Epicenters of the mainshock and aftershocks (from 8:43 June 14, 2008 through 23:59 June 18, 2008) as determined and compiled by the Japan Meteorological Agency are also shown by open circles. Our study area, Nakagawa, is highlighted. Background topographic relief image is based on the Geographical Survey Institute 50-m digital elevation model.



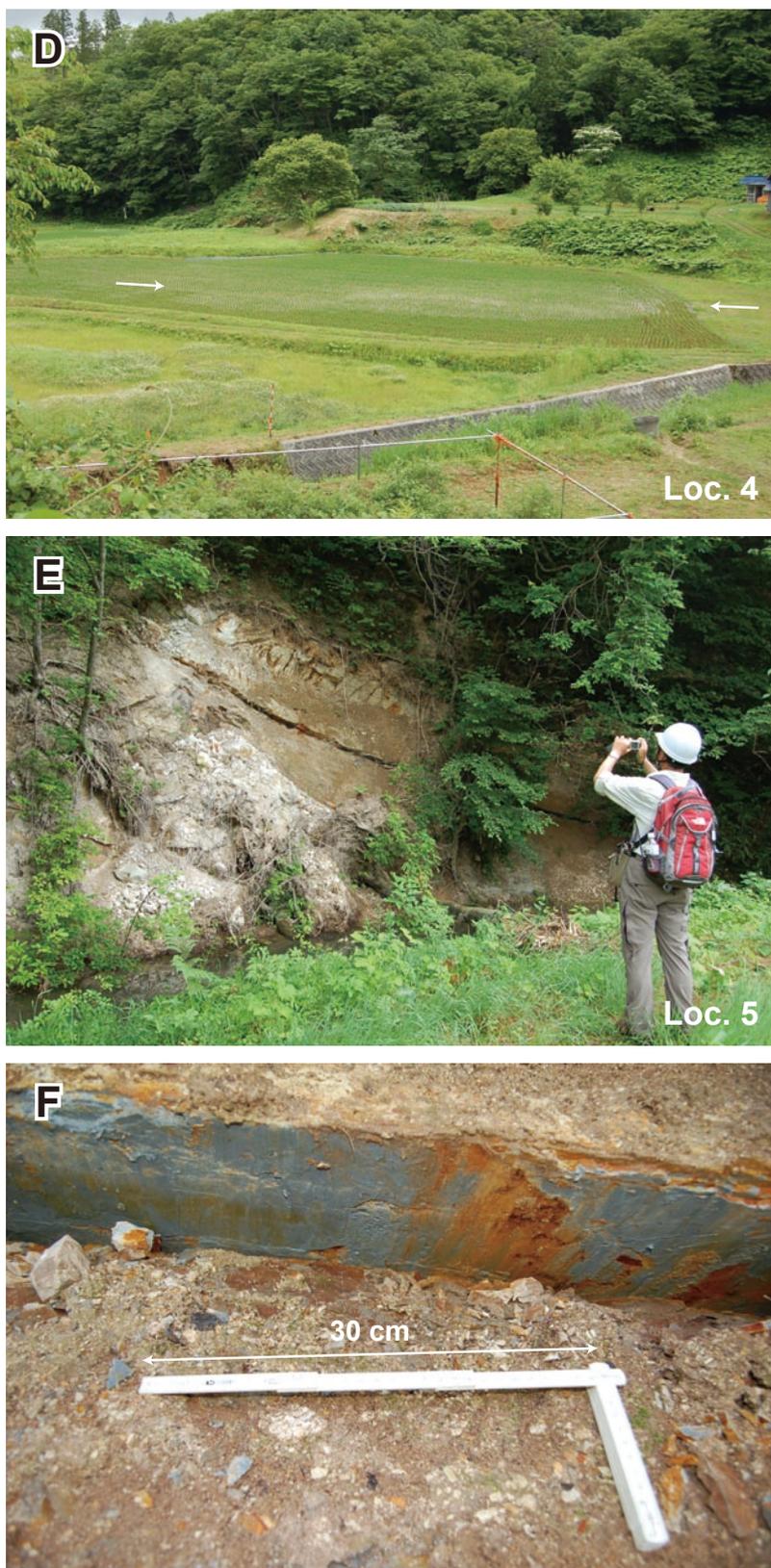
第2図. 中川地区で確認された地表地震断層(赤線)と水田の傾動(赤矢印)の位置. 層理面すべり断層露頭の位置(赤のX)および仮設ベンチマークの位置(B-1およびB-2)も示した. 背景の陰影図は, 朝日航空株式会社地震翌日に実施した航空レーザー測量による1mグリッドのデジタル標高モデル(地物除去フィルタリングを施していないもの)から作成した. 陰影図上の砂地模様のような部分は山地斜面上の樹冠を示す.

Fig. 2. Locations of the surface rupture (red line) and rice paddy tilts (red arrows) found at Nakagawa. Locations of the flexural slip outcrop (red X) and temporary benchmarks (B-1 and B-2) are also shown. Background topographic relief image is based on the 1-m digital elevation model (not bared) from the airborne LiDAR survey, which was conducted by Aero Asahi Corporation on the day following the mainshock. The sandy texture on the relief image represents forest canopies on the mountain slope.



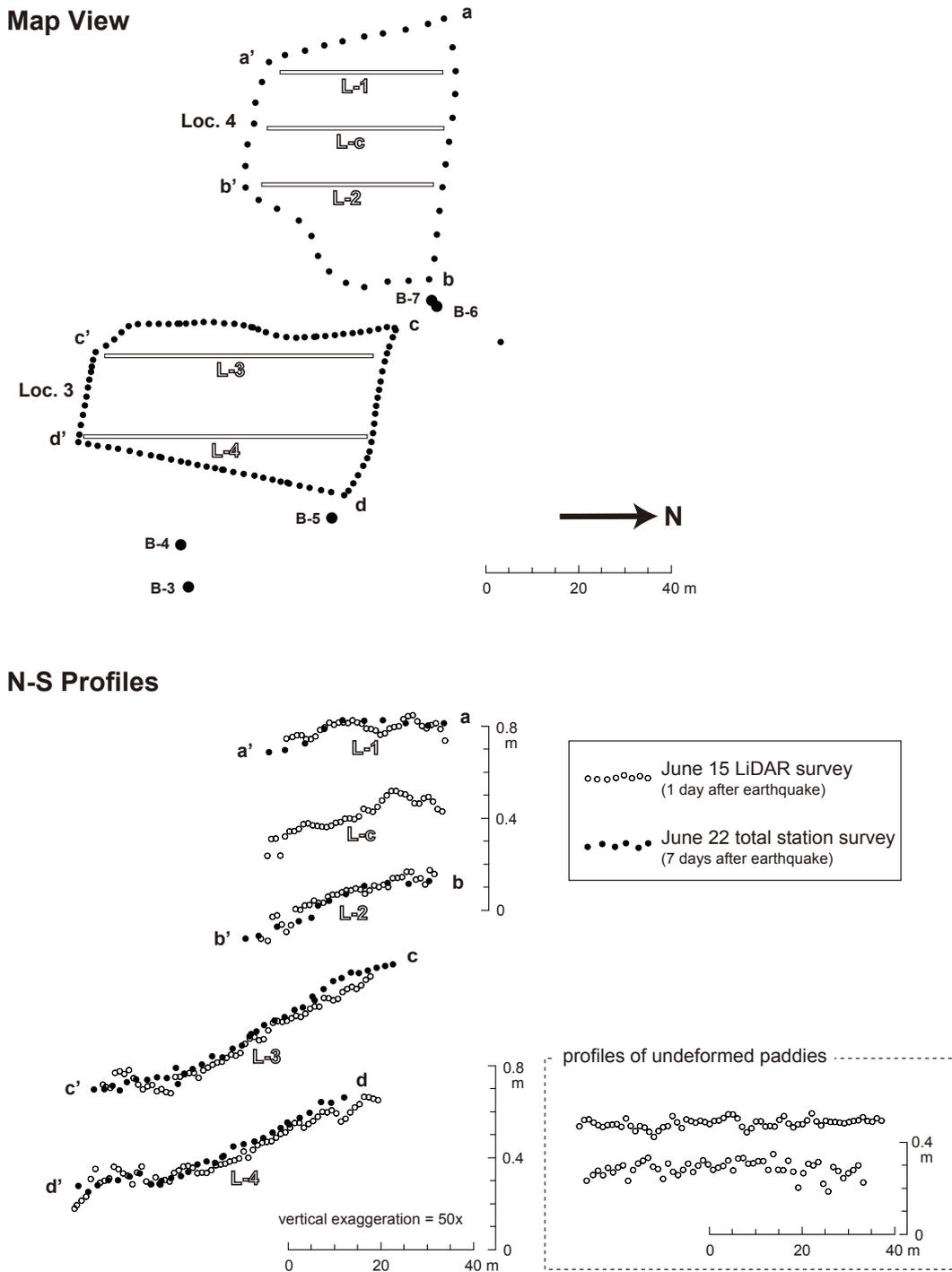
第3図. 中川地区で確認された地表変状の写真. F以外の写真はすべて2008年6月22日撮影. (A) 林道を横切る段差(第2図 Loc. 1). 西をのぞむ. (B) 本寺川左岸のブロック擁壁の座屈破壊(同 Loc. 2). 北をのぞむ. (C) 傾動による干上がりを最小限にするため, 簡易間仕切りによって4枚に分割された水田(同 Loc. 3). 南東をのぞむ.

Fig. 3. Photographs of various surface deformations found at Nakagawa. Taken on June 22, 2008, except for the photograph F. (A) Dirt road drop at Loc. 1 of Fig. 2. Looking west. (B) Buckled concrete-block wall at Loc. 2 on the left bank of the Hondera River. Looking north. (C) Tilted rice paddy at Loc. 3 that were separated into four smaller paddies to minimize dry-up. Looking southeast.



第3図. 続き. (D) 背斜状に変形した水田 (同 Loc. 4). 南をのぞむ. 矢印は背斜軸のおおよその位置を示す. (E) 本寺川右岸の露頭に生じた層理面すべり断層 (同 Loc. 5). 南をのぞむ. (F) 層理面すべり断層に残る断層擦痕の拡大. 2008年7月2日撮影.

Fig. 3. Continued. (D) Anticlinal deformation of the rice paddy at Loc. 4. Looking south. Arrows denote approximate location of the anticlinal axis. (E) Flexural slip on the bedrock outcrop at Loc. 5 on the right bank of the Hondera River. Looking south. (F) Close-up view of the slickenlines on the flexural slip surface. Taken on July 2, 2008.



第4図. Loc. 3 および Loc. 4 の水田の地震翌日 (6月15日, 白抜丸) と7日後 (6月22日, 黒丸) における変形の比較. 上図は平面図, 下図は上図に示した測線位置における南北投影断面図 (鉛直方向に50倍誇張) を表す. 地震翌日の断面は航空レーザー測量, 7日後の断面は現地トータルステーション測量による. 下図右下には, 中川地区から十分に西に離れた非変形の水田の断面 (地震翌日) も示した.

Fig. 4. Comparison of rice-paddy deformations at Locs. 3 and 4 between one day (June 15, open circles) and 7 days (June 22, solid circles) after the earthquake. The upper panel shows the map view with locations of profiles, and the lower panel demonstrates the respective rice-paddy profiles projected to north-south azimuth. Note that the profiles are all vertically exaggerated by a factor of as much as 50. The profiles one day and 7 days after the earthquake are based on airborne LiDAR and on-site total station surveys, respectively. Profiles of undeformed paddies far west of Nakagawa (one day after the earthquake) are also shown at the right bottom of the lower panel.