平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震災害正射写真及び写真測量により判読した土砂災害の発生状況

Photogrammetric Analysis of Landslides Caused by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008

測図部　大野裕幸・石井　宏・中島最郎・高橋　祥・渡部金一郎
Topographic Department　Hiroyuki OHNO, Hiroshi ISHII, Sairo NAKAJIMA, Syo TAKAHASHI and Kinichiro WATANABE

要　　旨

国土地理院は，平成 20 年６月 14 日午前８時 43 分ごろに発生した「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」への対応の一環として，測量用飛行機「くにかぜⅡ」による被災地の空中写真の緊急撮影を６月 15 日から 18 日にかけて実施した．これらの写真から，規模が極めて大きな地すべりや斜面崩壊が集中して発生した地区の存在が確認され，この地震による被害は，土砂災害が中心であることが分かった．

ここ数年に発生した地震への対応として緊急撮影された空中写真から作成した正射写真（以下,「オルソ画像」という.）は，建物倒壊などの被害箇所を正確に捉えるため，位置精度を重視した地上解像度 20cm クラスの詳細なものであった．一方，今回の地震では個々の被害箇所の大きさが建物倒壊被害の場合と比較して数十から百倍程度の規模であり，位置精度よりも地図と重ね合わせることができるというオルソ画像の特性を活かした判読を迅速に実施することが重要と判断し，迅速性を優先した簡易なオルソ画像を作成して土砂災害の発生状況について判読を実施することとした．

ここでは，この地震によって荒砥沢ダム貯水池内で発生した大規模地すべりと，５名の死亡が確認された駒の湯温泉に被害を与えた土石流の原因となった東栗駒山斜面の土砂崩落及び宮城県側で発生した多数の斜面崩壊について，簡易オルソ画像及び図化機を用いた実体視により判読した結果を報告する．

１．はじめに

平成 20 年６月 14 日午前８時 43 分ごろ,岩手県内陸部を震源とするマグニチュード 7.2 の「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」が発生した．この地震では，最大震度が６強であったにもかかわらず全半壊の被害を受けた家屋が合計 126 棟と，最大震度が同じであった平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震の 4876 棟，平成 19 年（2007 年）能登半島地震の 1799 棟と比較すると,建物被害は少数であった．

一方，宮城県栗原市では，震度６強の揺れが観測された一迫（いちはさま）地区のみでなく，震度６弱の揺れであった栗駒地区などで土砂災害が発生し,河道閉塞（天然ダム）が多数形成された．また，震度５強が観測された岩手県一関市でも，多数の斜面崩壊が発生し,河道閉塞や橋梁の落下などが生じた．

測図部では，災害発生時にオルソ画像を作成して関係機関に提供している．しかし，従来は，情報分析に用いることを目的としてではなく，正射写真図という図面の作成と，建物倒壊被害の状況を詳細に判読するために 20cm クラスの地上解像度を確保することを目的としてオルソ画像を作成する処理を行っていたことから，完成までに時間を要し，発災後の被災状況の分析が求められるフェーズでオルソ画像が活用される機会は少なかった．

また，国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発」（通称「減災総プロ」）の一環として，空中写真等のデジタル画像から迅速に被害状況を抽出する技術開発も実施している．これは，地震の発生前と発生後の二時期に撮影されたデジタル画像から，それぞれのデジタル表層モデル（DSM）を作成し，その差異から被害の状況を自動的に判定して抽出するものである．この技術開発の主な目的は大規模地震による倒壊家屋の抽出であるが，高さの差を利用して倒壊家屋を判定する手法は，土砂災害の発生状況把握にも適用できる可能性が高いと考えられた．

そこで，６月 15 日から 18 日にかけて国土地理院が測量用飛行機「くにかぜⅡ」により撮影した空中写真を用いて，迅速に被害状況を分析することを目的として従来よりも工程を簡略化して簡易オルソ画像等を作成し，それらを用いて土砂災害発生状況の分析を試みた．また，荒砥沢ダム貯水池内で発生した大規模地すべりと，駒の湯温泉に被害を与えた土石流の原因となった東栗駒山の土砂崩落及び二時期の DSM の比較による宮城県側で発生した多数の斜面崩壊の自動抽出状況について，作成した簡易オルソ画像と図化機を用いた実体視により判読した結果も併せて報告する．

２．土砂災害判読のためのオルソ画像等の作成

平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震に関連して作成したオルソ画像は，以下の５種類である．①～③及び⑤は地上解像度約 40cm，④は地上解像度 60cm の画像である．

① ６月 15 日撮影の空中写真による荒砥沢ダム上流地域の簡易オルソ画像（６月 16 日作成）
② ６月 16・18 日撮影の空中写真による荒砥沢ダム上流地域，駒の湯温泉地域，一迫川上流地域の簡易オルソ画像（６月 20 日作成）
③ ６月 16・18 日に撮影された空中写真による撮影地区全域の簡易オルソ画像（６月 26 日作成）
④ 平成 18 年に撮影していた空中写真による地震前のオルソ画像（８月 15 日作成）
⑤ ６月 15・16・18 日に撮影された空中写真による撮影地区全域の DSM による補正を行ったオルソ画像（８月 27 日作成）

簡易オルソ画像とは，オルソ画像作成時に使用する標高モデルとして，使用する画像からステレオマッチングによって生成した DSM ではなく，既存の 50mメッシュ DEM を用いて作成したオルソ画像をいう．オルソ画像作成時に最も処理時間が必要でボトルネックとなる DSM 作成を省略するため，簡易オルソ画像は短時間で作成することが可能である．

一方で，簡易オルソ画像では地震前の 50mメッシュ DEM を用いることに起因する位置ずれの発生が懸念された．ここでは，簡易オルソ画像の作成目的が，数百メートル規模の大規模な土砂災害の発生状況の概略を把握するためであり，被災前の 50mメッシュ DEM の使用による位置ずれの影響は軽微であると思われること，また，その影響よりも作成の迅速性の優先度が勝るという判断から，簡易オルソ画像として作成することとした．

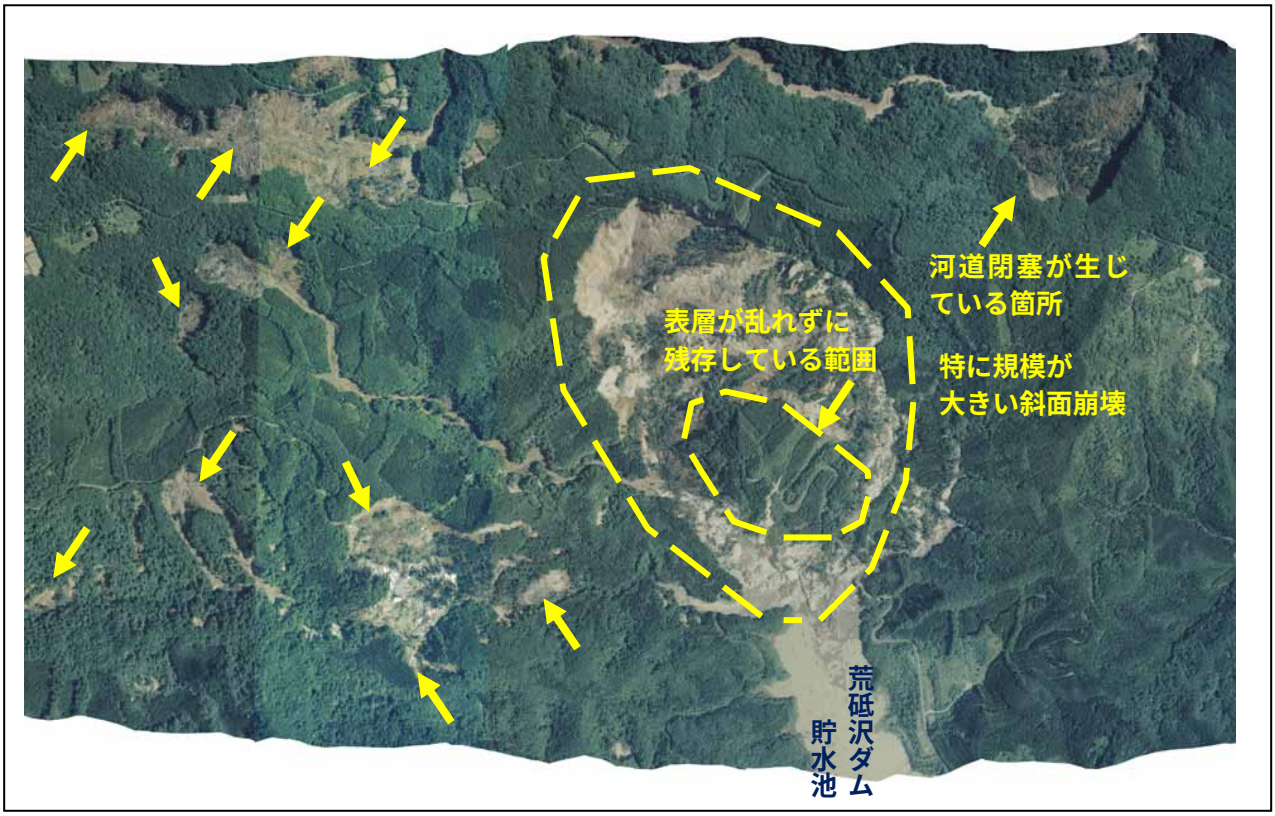
使用した写真のスペックは，以下のとおりである．

１）①～③及び⑤に使用した被災後撮影の空中写真

撮影日	平成 20 年６月 15・16・18 日
撮影縮尺	1/10,000
撮影色	カラー
撮影カメラ	RC-30 （アナログ）
スキャン解像度	600dpi（一部 1200dpi）
外部標定要素	機体設置の GPS/IMU 装置による

２）④に使用した被災前撮影の空中写真

撮影日	平成 18 年９月 23 日
撮影縮尺	1/30,000
撮影色	モノクロ
撮影カメラ	RC-30（アナログ）
スキャン解像度	600dpi
外部標定要素	①～③による画像を用いた地物標定による．



図－１　荒砥沢ダム上流部の簡易オルソ画像（６月 16 日作成）から判読できる斜面崩壊

３．オルソ画像及び写真測量による斜面崩壊の判読

３．１　荒砥沢ダム貯水池内で発生した斜面崩壊

宮城県二迫（にはさま）川の荒砥沢ダム貯水池内で大規模な斜面崩壊が発生した．６月 16 日に作成したこの斜面崩壊周辺の簡易オルソ画像(図－１)は，荒砥沢ダム上流部の東西方向約５km，南北方向約 2.5 kmの狭い範囲であったにもかかわらず，図中矢印部等に多数の斜面崩壊箇所が確認された．その中でも特に規模が大きい荒砥沢ダム貯水池内の斜面崩壊では，内部に表層に乱れのない部分が比較的広範囲に残存している部分が確認された．この表層残存部分が移動しているとすれば，極めて規模が大きな斜面崩壊であることから，この残存部分と斜面崩壊との関連を調査した．

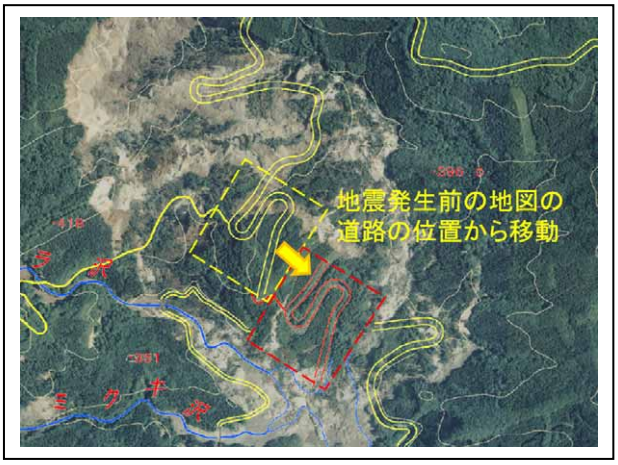
この斜面崩壊で地肌が露出している範囲は，簡易オルソ画像の図上で計測したところ長さ約 1200m，幅約 800mであった．残存部分に確認できるＳ字状の道路は比較的新しい道路で，電子国土で提供されていたデータを元に２万５千分１地形図の地図記号として簡易オルソ画像上に重畳表示して移動の有無を確認した（図－２）．簡易オルソ画像から斜面崩壊の影響を受けていない部分の道路と重ね合わせた道路記号との間には位置ずれが無いことから，表層残存部分は地震発生前の位置から大きく移動していることが判読でき，移動量は少なくとも 300mに達すると推測された．この移動量は，のちに平成 18 年撮影の空中写真を用いて再計測したところ，約 320m であることが分かった．

また，オルソ画像では高さに関する情報が失われるため，デジタルステレオ図化機を使用してこの斜面崩壊内部の地形を簡易に測量した（図－３）．これによると，崩壊内部で表層を保っている部分の厚さは北側で約 30m，南側では約 60mである．さらに，崩壊地内には高さ約 30～40mの２つの尾根が生じていることが分かった．

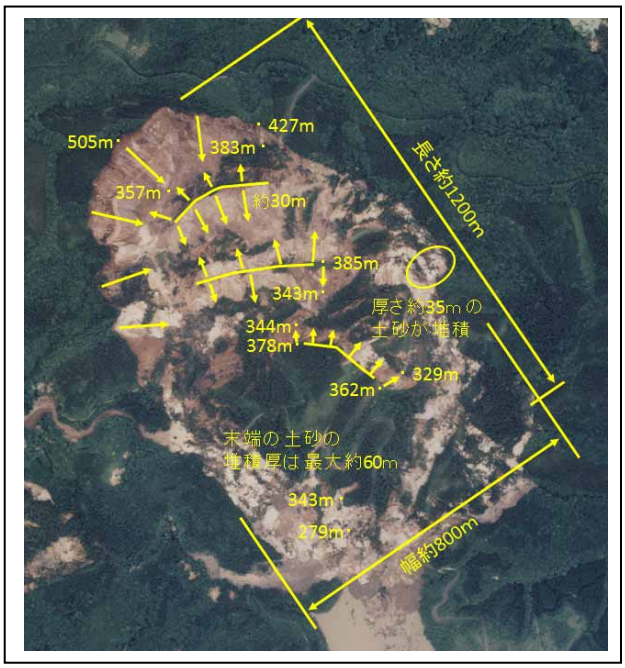
なお，（社）日本地すべり学会の現地調査団報告書によると，この斜面崩壊は地すべりであり，少なくとも延長 1000m，幅 700m，最大深さ 150m，移動土砂量約 7000 万m^{3}に及ぶ※としている．

３．２　東栗駒山の斜面で発生した斜面崩壊

東栗駒山の東側斜面で発生した斜面崩壊によって生じた土石流は，下流の駒の湯温泉に達した．この土石流の元になったと思われる斜面崩壊と，そこで生じた崩壊土砂が駒の湯温泉に達するまでの状況を６月 15・16・18 日に撮影した空中写真及び６月 20 日に作成した簡易オルソ画像から判読した．地震前との比較のために，平成 18 年９月 23 日撮影の空中写真も使用し，図化機による計測を実施した．



図－２　荒砥沢ダム貯水池内の斜面崩壊内部の移動状況



図－３　荒砥沢ダム貯水池内の斜面崩壊の地形判読

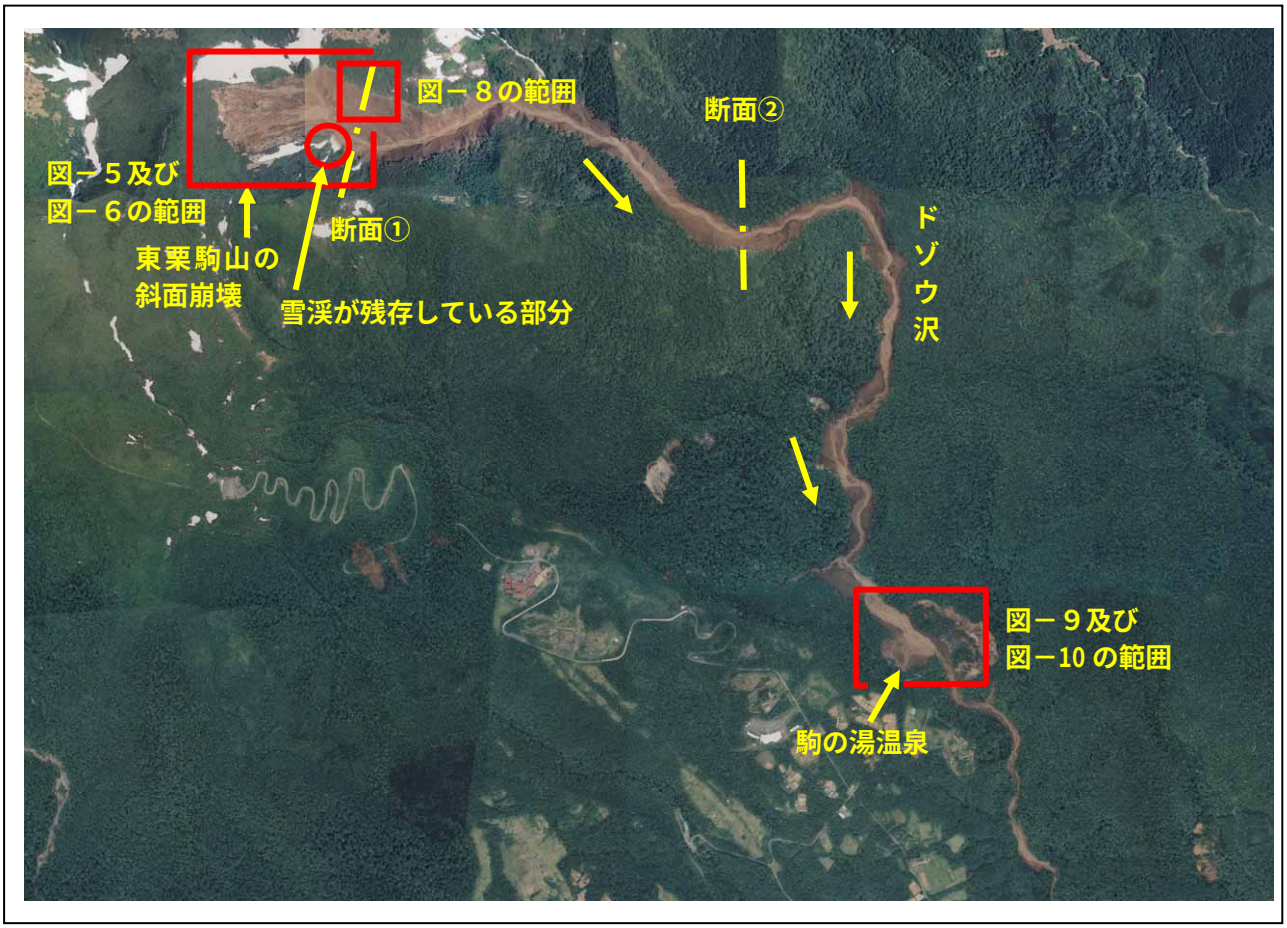
３．２．１　東栗駒山の斜面崩壊

図－４は，６月 20 日に作成した駒の湯温泉地域の簡易オルソ画像である．東栗駒山の斜面に長さ約 500m，幅約 300mの崩壊部と思われる部分が確認された．そこで発生した斜面崩壊による土砂がドゾウ沢を流れ下って駒の湯温泉に至ったと推測された．

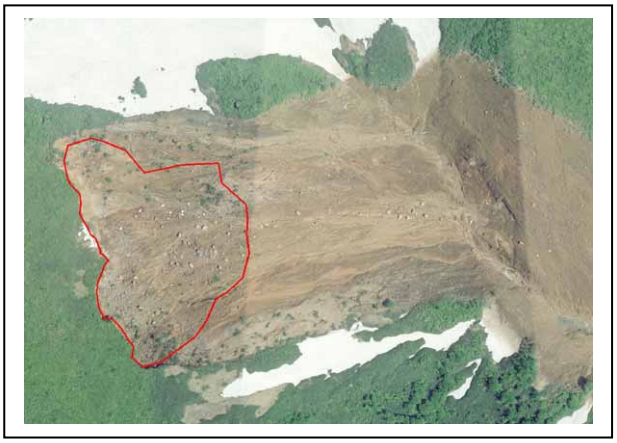
そのため，この斜面崩壊部について，地震後のステレオ画像を用いて簡易に等高線を取得したところ斜面下部の地形は，やや削られた形跡が見られるものの大きな変化はなく，崩壊した範囲は，斜面上部の幅最大約 300m，長さ約 200mの範囲に留まり，斜面の下側約 300mの部分は，上部で崩落した土砂が斜面を落下する際に表面を削ったものであることが判明した．地震前の２万５千分１地形図の等高線との比較から崩壊範囲と推定される範囲を図－５に赤線で示す．

次に，この斜面崩壊では，ほぼすべての崩壊土砂が下流に流れ下っていることから，崩壊部の土砂量の推定を試みた．

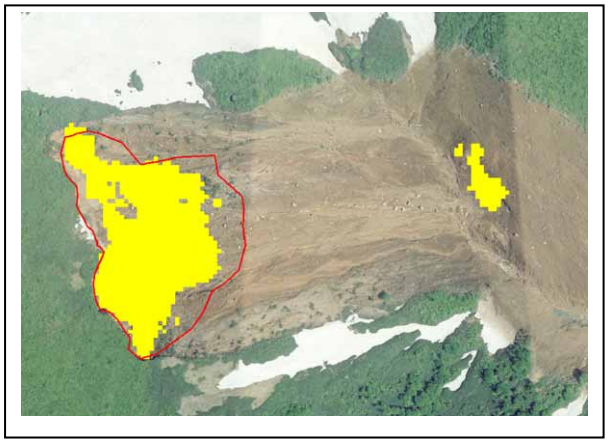
崩壊部を詳細に判読すると，崩壊の最上部南側には高さが最大32m程度の，ところによっては鉛直な滑落崖が生じていることが分かった．また，平成18年に撮影した写真を用いたステレオ計測の結果との比較などから，崩壊側面は元地形から厚さ12～15m程度，崩壊末端部の厚さは５～10m程度であったと推定される．これらのことから，崩壊部上部の幅約300m，長さ約100mの範囲は，厚さ15～32m程度の土塊，下部の幅約200m，長さ約100mの範囲は厚さ５～25m程度の土塊が崩壊したものと推測される．崩壊土量は，６月18日の報道発表時の推定（約150万m^3）よりもやや少なく，この崩壊本体の土砂量は最大100万m^3程度と推定される．報道発表の数値と50万m^3の誤差が生じたことになるが，これは，報道発表時は崩壊前の地形を２万５千分１地形図の



図－４　駒の湯温泉に被害を与えた東栗駒山の斜面崩壊と流下状況



図－５　東栗駒山斜面の崩壊推定範囲



図－６　DSMによって抽出した崩壊推定範囲

等高線のみから推測していたことが原因と思われる．

さらに，減災総プロの一環で開発中の，被災箇所の自動抽出技術を用いて崩壊箇所を推定したものを図－６に示す．これは，平成 18 年に撮影された地震前の空中写真と，主に６月 18 日に撮影された地震後の空中写真の両方について，地上解像度５ｍの DSM を作成し，地震後の高さが 10m以上低くなった範囲を抽出した結果である．地震前の空中写真によると，この崩壊部の植生は高さ２～３ｍの低木が多く，10ｍを超える高い立木はほとんど見られないことから，DSM の差分への植生の影響は少なく，比較的信頼性が高いと思われる．また，ドゾウ沢対岸にも幅 70m，長さ 40mほどの範囲が抽出されている．これについて実体視により地形の変化を確認したところ，地震前は高さ 10m程度の段丘状に切り立っていた地形が斜面に変化しており，落下した土砂が下流に流れる際に削り取られたものと推測される．

なお，DSM を用いた斜面崩壊箇所の抽出結果については，後節で検証する．

３．２．２　ドゾウ沢の流下状況の判読

図－４の画像から，東栗駒山の崩壊箇所から駒の湯温泉に至るドゾウ沢～裏沢の両岸が，連続して地肌が露出していることが確認された．

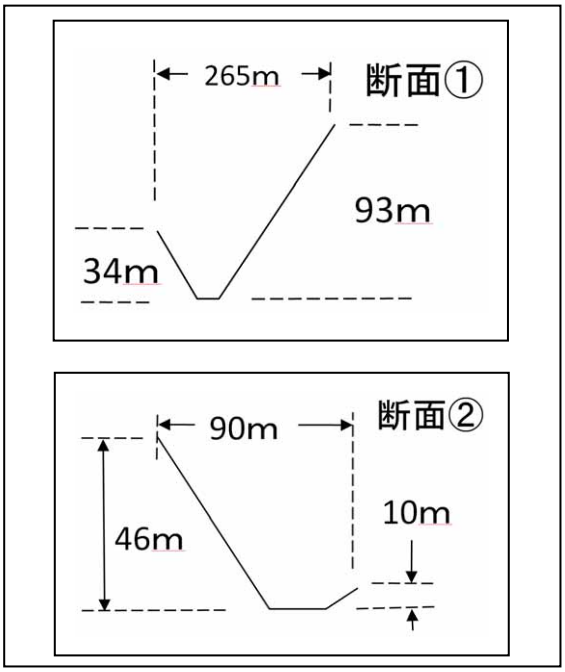
ドゾウ沢は，地震前は急峻なＶ字型の谷であったにもかかわらず，ところによっては地肌が露出している範囲が外側に大きく広がった箇所があることが確認された．特に図－４の断面①においては，図－７に示すように，標高差約 200mの斜面を崩れ落ちてきた崩壊土砂が狭いドゾウ沢に流入し切れず，対岸斜面の 93mの高さまで大きく乗り上げている．一方，崩壊斜面側直下流では，雪渓に土埃が被さった部分は見られるものの，雪渓自体は削り取られることなく残存している（図－４の注記部）．また，断面①の対岸斜面の画像を拡大すると，地肌には斜め下方向に擦り取ったような痕跡が残されていることが分かる（図－８）．これらの状況から，勢いに乗った崩壊土砂が対岸に乗り上げ，水平方向の速度を保ったまま鉛直方向の速度を重力によって失いながら対岸斜面を孤を描くように進み，最終的には重力に従って下流側に斜めに落下して行った状況を表しているものと推測する．また，断面②の地点においても流下した土砂が外側に大きく膨らんで通過した痕跡が見られることから，土砂はかなりの水分を含む等で流動性が高い状態となっていたと推測される．

また，図－４の斜面崩壊地周辺には積雪が見られる．この崩壊部の両側に隣接する箇所にも積雪が見られる．図化機を用いて地震前の画像（積雪なし）との比較によってこれらの積雪深を計測したところ，ドゾウ沢の直上流部で２～３ｍ，斜面では図化機では測定できない程度の薄い積雪であった．崩壊部の下流側斜面に残雪が見られることから，崩壊斜面には１ｍ以下の薄い積雪と，ドゾウ沢にも数メートルの積雪があったことが推測される．

３．２．３　駒の湯温泉部分の土砂堆積状況の判読

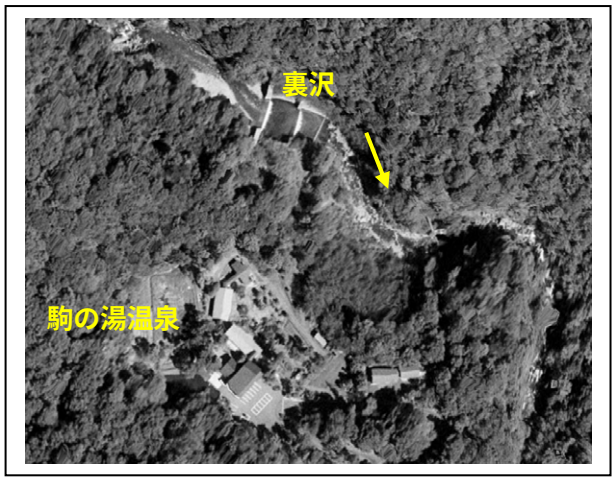
東栗駒山から流下した土砂は，ドゾウ沢から裏沢を流れ下って，崩壊地から約 4.8 ㎞下流の駒の湯温泉付近に達している．

地震前の駒の湯温泉地区の画像（図－９）によると，駒の湯温泉の前には裏沢が蛇行するように流れており，少なくとも２か所に砂防堰堤が設置されていたことが分かる．地震前の空中写真による判読で



図－７　ドゾウ沢上流部の地肌露出状況

図－８　東栗駒山の斜面崩壊直下部におけるドゾウ沢対岸部の斜面状況



図－９　地震前の駒の湯温泉地区

図－10　地震後の駒の湯温泉地区

は，この裏沢は，駒の湯温泉地区で蛇行して南に向きを変えるまでの間に標高が約 40m下がる急な谷となっていた．また，被害を受けた駒の湯温泉旅館の建物は，沢から 20mほど高い場所にあった．

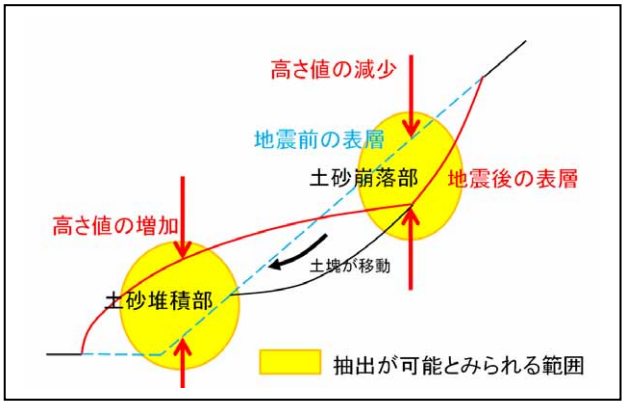
地震後の同じ範囲の画像（図－10）では，堆積した土砂によって沢部の幅が地震前の沢の倍以上になっていることが分かる．元は南北に蛇行していた裏沢の形状が無くなり，ほぼ直線に変化している．

図化機を用いて標高を計測すると，駒の湯温泉地域はほぼ標高 581～582mの高さで平坦に土砂が堆積しており，南側の元は駐車場であった部分が 585 mとやや高くなっていることが分かった．地震前の空中写真との比較から，裏沢部分で 30～40m，駒の湯温泉旅館があった部分で７～８m，駐車場部分で５m前後の厚さの土砂が堆積していると推定される．

４．２時期の DSM を用いた斜面崩壊箇所の抽出

４．１　DSM の作成と抽出条件

減災総プロでは，地震発生前と地震発生後の二時期に撮影された空中写真から精細な DSM を作成し，



図－11　斜面崩壊に伴う高さの変化

地震発生前よりも一定以上低くなった地点の集合部を被害個所として抽出する手法の開発を実施している．抽出の対象は，主に家屋を想定しているため，DSM は使用する空中写真の地上解像度と同じ 20cm～40cm 程度の極めて詳細なものを使用し，地震前と比較して高さが２～３m低下した地点の集合部を捉えて倒壊家屋と判定する．平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震の被災地である柏崎市中心部にこの手法を適用したところ，約９割の割合で倒壊家屋の位置を特定することに成功した．

ここで，斜面崩壊も元の地形に存在した土塊が下方に落下する現象が一般的であり，ある地点の標高が変化するという点では，家屋の倒壊という現象と共通する．また，地すべりの下部や河道閉塞を生じた箇所では標高が地震前より高くなることもある．これらから，地震前後の二時期の DSM の高さの変化を捉えるという手法は，斜面崩壊発生箇所の特定にも適用できる可能性がある（図－11）．

そこで，地震前の平成 18 年９月 23 日と，地震後に撮影された二時期の空中写真から DSM を作成し，標高の比較を行って今回の地震による斜面崩壊発生箇所の抽出を試みた．

図－12　DSM 作成範囲（1/50 万地方図「東北」を使用）

使用した DSM のスペックは以下のとおりである．

1）地震前空中写真

撮影日　平成 18 年 9 月 23 日

縮尺　1/30,000

スキャンピッチ　1270dpi

作成時間　約 3 日

2）地震後空中写真

撮影日　平成 20 年 6 月 16・18 日

縮尺　1/10,000

スキャンピッチ　600dpi

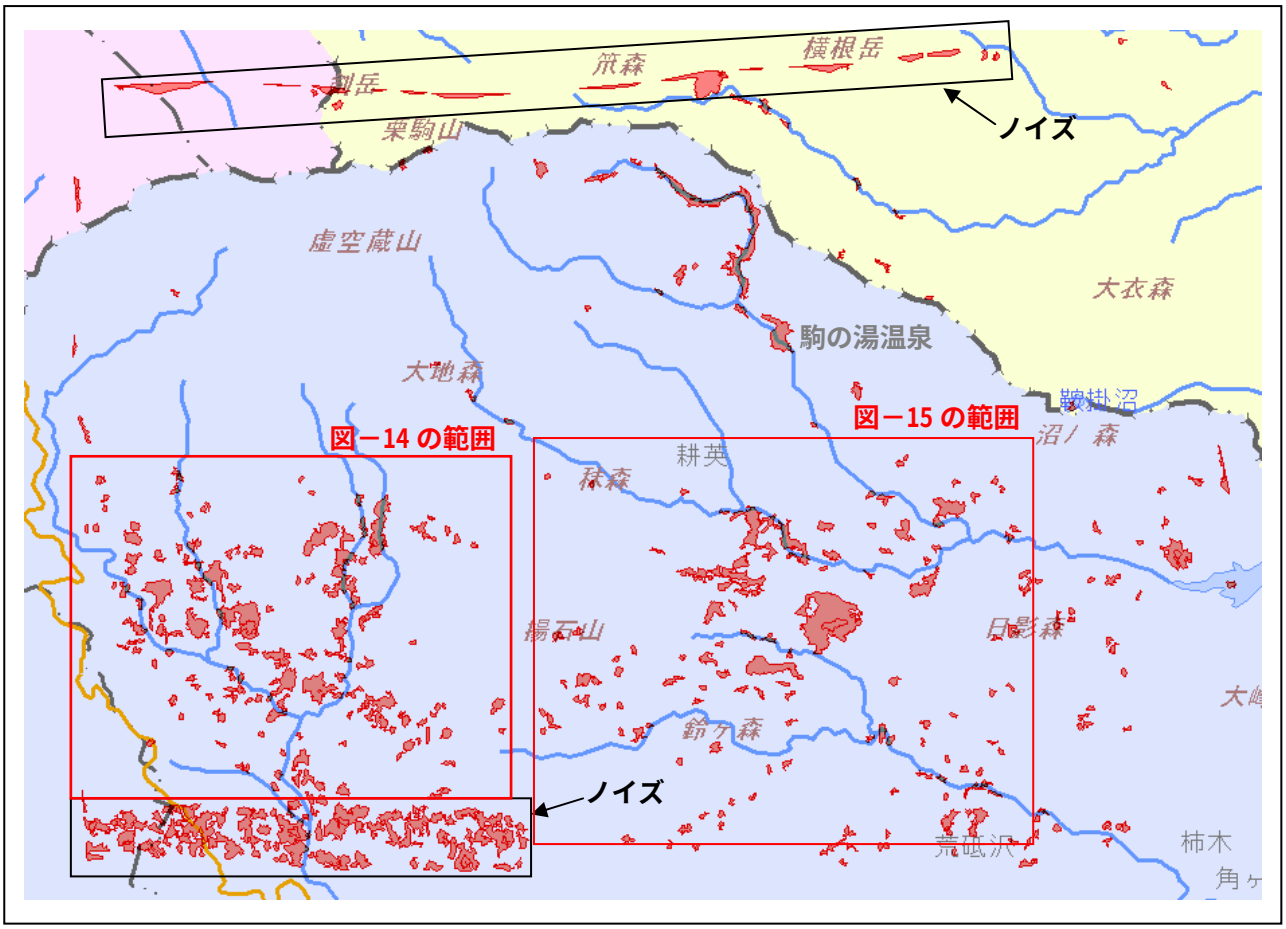
作成時間　約 24 時間

3）メッシュ間隔　5m

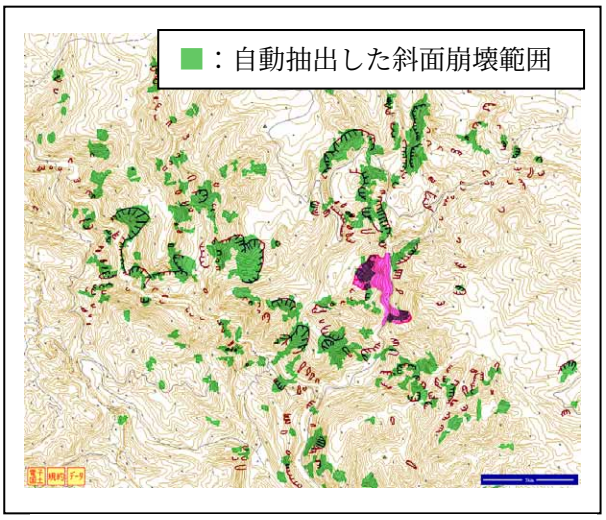
4）高さ方向分解能　0.1m

5）作成範囲　図－12 に示す赤枠の範囲

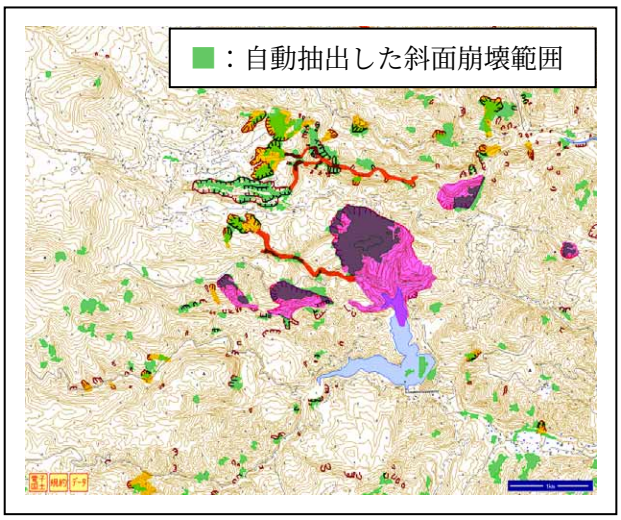
6）面積　192 km^2（東西 16km×南北 12km）



図－13　DSM の差分による斜面崩壊抽出状況



図－14　一迫川上流の斜面崩壊抽出状況



図－15　荒砥沢ダム上流地域の斜面崩壊抽出状況

抽出にあたっては，斜面崩壊の形状を正確に捉えるのが目的ではなく，発生位置の把握に役立つデータを得ることが目的であること，メッシュ間隔が５mとかなり粗いこと，高さ方向の精度は２万５千分１地形図の等高線程度に留まること等を勘案し，①10m以上の高さ変化が生じた，②150 メッシュ以上の集合，という条件を設定し，その条件を同時に満たす範囲を斜面崩壊発生箇所と判定した．ここで，150 メッシュとは，3750m^{2}に相当し，例えば，幅50m，長さ 80m程度の斜面崩壊が閾値となる．図－13 は，二時期の DSM の比較から，この条件のうち地震後の高さが低くなった地点に限定して抽出した範囲を電子国土地図上に示したものである．これは，斜面崩壊等によって土塊が落下した地域を表していると考えられる．河道閉塞や土塊の堆積部分を表すと思われる標高が高くなった地点の集合についても差分抽出を試みたが，立木の影響によるとみられるノイズが多いため今回は除外した．なお，DSM 作成範囲の外縁に沿って抽出された部分及び南西下部の矩形範囲は，DSM 作成時に用いた空中写真の中心投影による倒れ込みが大きいことに起因する DSM の高さ精度不足によって発生したとみられるノイズである．

この抽出結果は，一迫川上流地区，荒砥沢ダム上流地区，駒の湯温泉に被害を与えたドゾウ沢など斜面崩壊が多数発生した地区とほぼ同じ地区に集中しており，大まかに斜面崩壊の発生集中地区を捉えることができていると言える．

一方，図－14，図－15 に示す斜面崩壊の集中地区である一迫川上流地区及び荒砥沢ダム上流地域の斜面崩壊の抽出状況について，地理調査部が空中写真から目視判読して作成した地すべりや斜面崩壊等の発生箇所のデータと重ね合わせ，正しく抽出できた割合を調査したところ，表－１のように，48.3%から 61.8%と，低い正解率となった．誤抽出の箇所のうち２か所について地震前と後の標高値を図化機によってサンプル調査したところ，地震後の標高が低くなっている箇所は無く，誤抽出であることを確認した．誤抽出は，人為的に植林されたとみられる針葉樹林に多く発生していることから，おそらく中心投影による針葉樹の倒れ込みに起因する局所的な DSM の精度の悪化などが影響しているとみられる．

表－１　DSM による自動抽出結果の検証結果

地区名	一迫川上流	荒砥沢ダム上流
正確に抽出	68 箇所（61.8%）	57 箇所（48.3%）
誤抽出	44 箇所（38.2%）	61 箇所（51.7%）
合計	112 箇所（100%）	118 箇所（100%）

ただし，８月８日に斜面崩壊の発生位置を確認する現地調査を実施した結果から，ここでの検証に用いた地理調査部の判読結果には，単なる地すべり地形（地すべり地形は呈しているが，実際はすべりが発生していない地区）や，今回の地震のものではない古い崩落の跡とみられるものも含まれている可能性があり，さらに慎重な検証が必要である．

５．まとめ

平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震は，平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震以来の斜面崩壊多発型の地震で，規模が大きな斜面崩壊や河道閉塞の件数が多かったという点では，近年にない地震災害であった．

今回，災害対応の場面で初めて，被害状況の分析に用いることを目的として簡易オルソ画像を作成し，被害状況の分析を試みた．今回の地震では，分析の対象地域が森林の多い山間部であったことや，斜面崩壊部では元の地表面が広範囲にわたって跡形もなく変化し，被災状況の分析に数メートル程度の水平位置の精度を求める必要が無かったこと等の条件が整ったことで，簡易オルソ画像でも十分に被害状況分析の目的を達することができた．その結果として空中写真撮影の翌日には簡易オルソ画像を作成し，分析に供することができた．道路の寸断等によって斜面崩壊の現場に入ることが困難な地区では，今回実施したような簡易オルソ画像等を用いた判読による状況分析は有効な手段となる．

さらに，簡易オルソ画像は正射投影されているため，地図データと容易に重畳させることができるという特徴がある．これによって，迅速に「どこで何が発生しているか」という基本的な情報を得ることが可能となり，災害の種類や性質を問わず極めて有効な手段となり得る．例えば，斜面崩壊内部の移動量の分析に用いた図－２のような地図データと簡易オルソ画像を重ね合わせた画像を用いれば，写真に写っている地物の理解が容易になるため，生の空中写真よりも状況把握に適する場面は多いと思われる．

簡易オルソ画像の作成は，最も処理時間を要する DSM の作成工程を省略するため，地上解像度 40cm の場合，パソコン１台につき 200 km^{2}を８時間程度で作成することが可能である．近い将来，首都直下型地震等の大規模地震の発生が予測されていることから，今後，空中写真等の撮影からより早く，より広範囲の情報取得が可能な画像情報を得られるよう，処理技術の向上を図っていく．

また,50mメッシュ DEM による簡易オルソ画像と，ステレオマッチングで生成した DSM によるオルソ画像の位置精度の違いについても今後検証する．

参 考 文 献

宮城豊彦（2008）：平成 20 年岩手・宮城内陸地震報告会報告，５．地すべり・斜面崩壊，
http://wwwsoc.nii.ac.jp/thb-jls/download/h20eq_JLS2008.pdf（Accessed 11 Sep. 2008）.