

超巨大地震災害と地形学

—東北地方太平洋沖地震直後に JGU 会長に就任するにあたって—

田村俊和

Geomorphological approaches to the megaquake and related phenomena:
a message on the occasion of the 2011 East Japan Earthquake
Toshikazu TAMURA

とんでもない地形現象と、それにとまなうとんでもない災害が起きたときに、とんでもない役がまわってきたと、いささか困惑しているが、いつまでも困惑しているのも無責任というものであろう。自然災害のメカニズム解明や防災・減災への情報提供にも関連し得る仕事をしてきたというささやかな自負が、まさに猛威としか言いようのない超巨大イベントを前に崩れ去ってしまうような無力感を一方でもちながら、なんとか踏みとどまり、立ち直りたいという一念で、この一文を書き始めている。被災された方がたが大きな悲しみを抱きながら復興への歩みを進めようとしているとき、地形学の片隅にいる者として言及できることを断片的にでも書き記しておくことで、また歩き始めるきっかけとしたい。

1. 本震, 余震, 誘発地震の発震と地殻変動

2011年3月11日14時46分、まさに絵に描いたような、海溝から沈みこむ海洋プレートに引きずられていた大陸プレートの反発衝上で、この地震が起きた。破壊開始点は、手元で参照できる小縮尺図によると、牡鹿半島沖の海溝西壁で活断層が多い範囲の西縁付近にあたる。数m隆起し30mも東南東にずれたというメガスラストの上盤が、破壊開始点より数十km東まで続いているとすれば、その東縁あたりの海底面に食い違いがあらわれているのであろう。最初の破壊域は、島弧に平行な方向の長さが200kmほどにもなり、そのような大規模破壊が数分の間に隣接域で続発して、震源域の長辺が計500km、地震規模がMw9にもなったという。海底地形の形成に関わる重要な事実の認定とその解釈がさらに進み、弧-海溝系スケールでの大地形の形成がよりダイナミックに論じられるようになると期待したい。

上述のように広い本震の震源域で大小の余震が頻発している。その痕跡を海底地形にたどれるものもあろう。それとは別に、本震震源断層上盤の東への大きな変位にとまなう、その背後（西側）に誘発された地震のうちには、4月11日の阿武隈山地南東縁部の地震（M7.0）のように、既存の断層が逆断層ではなく正断層として変位したものがある。この変動地形学的知見は、超巨大地震に連動するプレート内テクトニクスに関して、新たな議論の展開を導くに違いない。

その正断層の変位とも関連し、震源域背後で広範囲に沈降運動が起きた。沈降量が大きい三陸海岸南部から仙台湾岸にかけての区間は、海成段丘が不明瞭な範囲とほぼ重なり、地形発達史の解釈にヒントを与える。また、この沈降により、上記の海岸域では、もっとも海側の堤間低地に新たなラグーンになる可能性のある湛水域ないし浸水頻発域が出現し

た。これは、もちろん復旧の障害となるが、完新世後半の海水準微変動による砂浜海岸地形の発達を考える上で何らかの視点を提供しないであろうか。

2. 津波

2～3 連発の本震の震源となった海底断層変位により、「想定」の数倍の高さの津波が発生し、太平洋沿岸（ハワイ等の島嶼やアメリカ大陸も含む）各地に達して、今回の地震による最大の被害を引き起こした。東北地方東岸で想定されていた津波は、主として 1896 年と 1933 年の三陸地震津波および 1960 年チリ地震津波の実績をもとに、1968 年十勝沖地震や 1978 年宮城県沖地震などのあまり大規模とは言えない津波の事例も参照しながら、宮城県沖でほぼ 30 年間隔に発生する、M8 に達することはなかろうとみられていた地震が引き起こすことができる規模のものであった。869 年（貞観 11 年）の地震によるとみられる津波堆積物が、仙台平野や福島県浜通りを含む海岸平野での地形学・堆積学の調査で発見されていて、それよりさらに 1000 年ほど前と考えられる津波堆積物も報告されていたが、それらは、行政機関による「想定」の前提としてはまだ取り上げられていなかった。

襲ってきた津波は、たいへんな破壊力をもっていた。そのようすが、ヘリコプターからリアルタイムで中継され、繰り返し放映された。船や車はともかく、基礎をもつ建物まで簡単に押し流された。防潮堤が、越波されるだけでなく、倒壊し流失してしまった。いくつかの湾口に海底から設置されていた防波堤も破壊された。河口近くでラグーンと海を隔てていた砂州が消滅した。海食崖のうちには、地震動で崩壊したもの、津波で侵食されたものなどがある。その破壊的津波が、東京電力福島第一原子力発電所の原子炉建屋・タービン建屋等を襲い、原発事故の一つの発端となった。これらの建築物が設置されていた海拔約 10m の面は、海食崖の上に広がる海拔約 35m の段丘面（鮮新統堆積岩を覆う段丘堆積物の層厚は 10m 以下）から 25m ほど人工的に削り下げた面と、2 つの小開析谷の谷底に近い面とを連ねたものであった。

貞観地震津波については、その堆積物が三陸海岸の多くの地域では発見されていないので、津波の規模が、したがって地震の規模が、過小評価されていた可能性もあるという。しかし、地表には侵食の場と堆積の場とがあって、堆積作用が及ぶ場合にもそれに先立って侵食が働くことがあり、後には風による再移動もあり得るといふ地形学の基礎的知見からみれば、津波が襲っても堆積物を残さない範囲があるのは当然であるし、津波来襲頻度の高いリアス海岸の湾奥低地に古い津波堆積物が保存されていないのも不思議ではない。地形現象の復元や、それに依拠する古地震の解明にあたり、堆積作用の証拠と侵食作用の証拠とをあわせて正しく解釈できるようになるには、地形学でさらに検討すべき点が多い。

浜堤列と、そこに立地する林地（日本では多くはマツ林）、熱帯の海岸ならマングローブ林などが、津波のエネルギーを減じるのに効果的とする報告が従来からあった。今回、三陸から浜通りにいたるほとんどの砂浜海岸で、もっとも海側の浜堤列は越波されて削られ、そこにあったマツ林もごく一部を除き倒されて流失したが、これらが、破壊された防潮堤などとともに、少なくとも第一波の波高や流速を減じる効果はあった。とは言っても、仙台平野では第 I 浜堤列（約 5000 年前の汀線）より内側にまで津波が到達した。

3. 地盤液状化

青森県東部から神奈川県に至るきわめて広い範囲で、地盤液状化現象が発生した。この

うち、三陸から常磐に至る海岸低地で発生したに違いない液状化のうちには、直後に来襲した津波の侵食・堆積で、痕跡が不明瞭になったものも多いと考えられる。

東京湾岸の1960年代末以後の埋立地のうち、主要港湾施設その他重要と考えられていた建造物の本体では目だった被害が生じなかったが、浦安の住宅地など浚渫土砂による埋立地を中心に広範囲に液状化が発生して、道路、埋設管や概して軽量の建築物の損傷が多発した。内陸部の河成低地でも液状化の事例はきわめて多く、道路、堤防、宅地、農地での亀裂、噴砂、不等沈下等の発生は11都県に及んだ。その素因は、自然の砂層にある場合と、人工的な埋立土砂が作り出した場合とがある。液状化発生の際の地盤条件に関しては、1964年新潟地震（さらに遡れば1894年庄内地震）以来知見が蓄積され、東京湾東岸等では1987年千葉県東方沖地震のときの経験もあって、一部では予測図も作られていたが、その認識は住民も行政当局（の一部）も十分ではなく、それらの知見に基づく対応策は埋立地のごく一部でしか講じられていなかった。

4. 自然斜面の崩壊

震源が沖合海底で、振動の卓越周期も概して長かったので、2004年新潟県中越地震や2008年岩手・宮城内陸地震のように大規模な地すべり・崩壊が引き起されることはなかった。しかし、前期更新世の白河火砕流からなる丘陵斜面などでは表層崩壊が比較的多く、崩土の高速移動も発生したようである。また、3月下旬から陸域とくに阿武隈山地南東縁部で発生するようになった誘発地震では、震源およびその周辺の断層沿いに比較的大規模な表層崩壊や地すべりが発生した。正断層の場合、断層の変位が、それに沿って生じた地すべりか、判定がむずかしいものがあるかもしれない。このほか、集落や主要道路から外れた位置で、斜面崩壊やその準備となる亀裂・微小移動が多数発生したと思われる。

5. 人工的地形改変との関連

1978年宮城県沖地震以来（正確には1968年十勝沖地震以来）、震度5強程度を超えた地震のたびに、丘陵地の地形を大きく改変して造成した宅地や農地で、盛土地内部および切土・盛土境界での地盤の移動・破壊に起因する被害の発生が続いている。今回の地震でも、仙台市太白区緑ヶ丘、泉区南光台、宮城野区鶴ヶ谷など、1978年宮城県沖地震で被災した住宅地で再び同じような現象が起き、仙台市青葉区折立や福島市あさひ台など、前回の地震以後に地形改変が完了したところで新たに同じような現象が発生した。一方、1978年に宅地42区画（住宅は未建築）を壊滅させる移動土量8万 m^3 の地すべりを起こした白石市緑ヶ丘（寿山第4団地）の谷埋め盛土地では、すべった部分を宅地に用いないような改修が行われ、今回発生した地盤変状は緑地化された盛土斜面の上部に限られた。大規模地形改変地の地震被害が同じ地点で再発したか否かは、この間の対応策を評価する際に注目すべき点である。より小規模な盛土のすべり出し等による宅地・路面の沈下・亀裂や埋設管の折損等は、さらに広く、しかし地形的にはきわめて限定された位置に出現している。これらについては、従来から行われているように、現象発生位置を地形改変状況の復元結果と重ねることで解析できる。

堤防や土堰堤などの人工堆積地形が亀裂を生じて沈下する現象は、きわめて広い範囲で発生した。白河火砕流からなる丘陵地の小谷を堰きとめて戦中から建設が始まり、戦後何回か積み増しされた須賀川市藤沼貯水池の土堰堤が、大規模に崩壊した。発生した土砂流

が堰堤のすぐ下流で侵食を行い、さらに1~2km下流の谷底低地の農地・集落を襲った。

東京電力福島第一原子力発電所の深刻な事故の原因の一つとなった津波被害は、発電・冷却関連施設を段丘面から25mあまりも低い位置に設置したことにより発生した。もちろん津波の想定高が低過ぎたのであるが、おそらく燃料輸送・揚水等のコストも考えて、そのままでも立地可能な段丘面から敷地内の開析谷底面に近い高さまで大幅に削り下げるといふ地形改変を行ったことが、津波被災の決定的な要因となっている。なお、旧谷底部に薄い谷底堆積物や盛土があれば、そこに周囲の旧谷壁等から地下水が集まり、床面の亀裂等から建屋に流入している可能性もある。このほか、外部電源遮断の一因になった送電鉄塔の倒壊が、隣接する盛土斜面の崩壊によるという。

大津波で壊滅的な被害を受けた海岸低地での集落再建にあたり、地形条件を使い分けることと並んで、高盛土を含む大規模な地形改変が提案され始めている。後者の場合、造成される人工地形の単なる地盤高や生活・生産活動の利便性だけでなく、その改変行為が沿岸海域から背後流域まで含む範囲の環境全体にとって、そして造成される土地自体にとって、将来にわたりどのような意味をもつかという視点からの評価を欠いてはならないことを、福島第一原発の被災は物語っている。そのような多面的な評価にかかわる基礎的知見が地形学および関連諸科学から提供できる。復興・生活再建はもちろん急がなければならないが、周辺に、そして将来に、目を配る余裕がなくなる愚は避けるべきである。

6. 地形からみた災害関連情報の伝達、防災・避難行動、記録の保全など

大津波警報を無視または軽視して亡くなった人や、避難地にたどり着けなかった人がいた。また、指定避難場所で被災した人がたくさんいた。各地の海岸に設けられていた防潮堤が簡単に越波された。東京電力福島第一原発では、前項に記したように、地形改変をともなう諸施設の配置が、取り返しのつかない事故の重要な一因となった。これらはいずれも、津波の想定高や到達までの時間に関連して生じた被害であるが、一方、指定避難場所に一たん避難した直後に得た情報から判断して、より高い位置に急遽移動し、難を免れた人もいた。

被害や避難に関わるいろいろな想定は、ハザード（発災要因）に関する何らかの研究結果をもとに、その時点では一応妥当と判断される多くの仮定を重ねて、行われるのがふつうである。その想定結果に立脚して避難計画等が作られ、諸施設が配置・設計される。立てられた計画を周知し、その遵守を促す際に、想定の根拠・仮定についての理解はどの程度得られているであろうか。手順の細部まで非専門家が完全に理解するのは困難にしても、考え方の道筋も知らせず（または知ろうとせず）に、単に「そこに行けば、それを行えば、安全」と伝えるのは誤りであろう。ハザードマップや各種予警報その他災害危険情報の伝達、およびその正しい理解をさらに進めるために、言い換えれば災害および災害関連情報へのリテラシーを高めるために、地形学を含む分野の研究および学校・社会での教育を、一部見直しも含めて、推進する余地は大きい。さらに、研究者には想定根拠・仮定等を折にふれて疑う学問的・精神的余裕が、行政担当者にはその成果を適宜取り入れて必要ならば既定の計画を改める柔軟性が、それぞれ要請されていることを忘れてはならない。

丘陵地の谷間および沖積低地に造成された宅地や海面埋立地の宅地で、従来の地震の際に起きていたものとまったく同じような、盛土の滑落・流動および液状化による被害が、また発生した。ここでは、今までの経験は、かつて被災した宅地の地盤改良や用途変更

も、その後造成された宅地の用地選定、工法・材料の選択や施工管理の徹底にも、そういう場所に居住することになった人の地盤への関心にも、一部を除き生かされていなかった。

宅地造成等規制法は、民有地での盛土移動による被害の防止も対象にできるよう一部改正されたが、それに基づく現実的な措置は、時間の不足だけでなく、私権への慣習的配慮に基づく行政側の自己抑制もあって、進んでいなかった。一方、私権を配慮された土地所有者は、自己の所有する土地の性状への認識を欠いていた。たとえば仙台周辺については、地元の地質コンサルタント会社が、新旧の2.5万分の1地形図から作ったDEMに基づくという制約の下ではあるが、「造成宅地地盤図」を作成・頒布していた。そのような情報も、少なくとも今回の宅地破壊被災者の大半には十分届いていなかったようである。こうして、想定外ではなく、行政側の想定途中停止・伝達中断と住民側の無想定とが組み合わさって、同じような被害が繰り返されたのである。人工地形学に関心をもっている者にとっては対象事例が増えたことになるが、知見の伝達という点では無力感を禁じ得ない。

今回の超巨大災害は、その痕跡をいろいろなところに、実に多様な形で残した。それらの痕跡が消えてしまう前に、埋蔵文化財の緊急発掘のように、急いで調査を進め正確な記録を残す必要がある。また、報道され、あるいはインターネット上に流布した、災害の諸側面を生々しく伝えるおびただしい数の画像や文章を、逸失する前に収集・整理し、より体系的な調査・研究成果とあわせて、検索を容易にする作業が要請される。これらを活用して、この超巨大災害の記録・記憶を後世に的確に伝えていくことも、それに遭遇しそれを調査する者の責務であろう。

7. むすびにかえて

地震発生から2か月半ほど経ったが、まだ関連情報を十分つかみ切れていない段階で、いささか活動力の低下した一地形学徒の視野にかりうじて入っていることを、本来必要な文献等の引用もせず、書き連ねてみた。関心の偏りは隠せず、また近い将来、修正・訂正すべき点が含まれているかもしれないが、ここで触れた項目を含む研究を進展させることが、2万数千人に上る犠牲者に、数十万人に上る直接的被災者に、数千万人に達するであろう間接的被災者に、そしてわれらの大地に対して、本会会員はじめ地形学に携わる者が応える道と信じている。それを通して地形学を、日本地形学連合を、さらに盛り立てて行くのではないか。(2011年5月30日記)