土砂災害地形の発生にかかわる現地形と植生変化の影響 —北部北上山地における検討例—

太田 岳 洋*, 長谷川 淳*, 高見 智之**, 川村 晃 寛***

要 旨

硬質の堆積岩がほぼ一様に分布するとみなすことのできる北部北上山地の一地域について, 気象条件がほぼ一定であった1970年~2001年の6時期の空中写真を用いて植生変化と土砂災害地形を判読した。また2000年に航空レーザ測量で得られた数値標高モデル(DEM)を用いて現地形を定量的に計測した。これらの結果から, 流域内における土砂災害地形の発生には, 流域の地形条件と植生の変化の両者が影響することが明らかとなった。例えば, 局所的な平均傾斜量や高度分散量の流域平均値が大きくなると流域内の単位面積あたりの崩壊箇所数が増加し, また伐採によりコナラ・クリ・落葉広葉樹群落の流域内の分布面積が減少しても崩壊箇所数が増加する。しかし, ほぼ全域が伐採された流域でも平均傾斜量の流域平均が小さいと崩壊は発生せず, また平均傾斜量の流域平均や表面積比が大きい流域では植生にかかわらず崩壊地などの土砂災害地形が増加する。これらのことから, 災害発生を促進するような植生条件と斜面崩壊に影響する地形因子とを適切に設定することにより, それらの値を用いて斜面崩壊などの土砂災害地形が発生・増加する可能性を評価できると推定される。

Key words: 土砂災害地形 topography of landslide disaster, 空中写真判読 interpretation of aerial photograph, 地形計測 geomorphometric study, 植生 vegetation

1. は じ め に

自然斜面の崩壊や落石, 土石流など突発的な土砂災害の発生には, 降雨などの誘因とともに素因としての地形・地質条件, 地下水条件や植生, 人工改変などの環境条件が関与すると考えられる。このような土砂災害の発生には大小の地形変化がともなうため, 地形と土砂災害の関係については, これまでも多くの研究者により議論されている¹⁾。近年は, 数値標高モデル(DEM)を用いた地形計測により, 自然災害の発生にかかわる地形条件を定量的に評価し, それをもとに災害危険箇所を予測する手法が試みられている²⁾。しかし, 現状では地形条件のみで定量的に精度よく災害発生に関する評価を行うことは困難であり, 植生などの環境条件や地質条件もあわせた定量的な評価手法の確立が望まれている。

一方, 地形と植生の関係については, これまで環境保全

を目的とした地生態学的観点から議論されてきた³⁾。とくに, 菊池は斜面崩壊地, 地すべり地や土石流堆積地などにおける植物群の特徴と成立過程をまとめている³⁾。このような地生態学的な地形・植生関係の研究は, 現地形での植物群の成立過程を述べるにとどまっている。また, 砂防分野では空中写真を用いた斜面崩壊後の植生回復状況の経年的変遷に関する研究例⁴⁾, 森林伐採や植栽面積の変化と流域の土砂生産および崩壊面積の関係を論じた研究例⁵⁾⁶⁾があり, 武居⁷⁾が土砂災害にかかわる地形条件をまとめている。砂防, 治山における植生と土砂災害の関係については, 塚本⁸⁾が包括的に論じている。

本論では, 地形変化を土砂災害と読み替え, 地形条件や植生環境の経時的な変化が土砂災害に及ぼす影響を明らかにすることを目的に, 硬質の堆積岩がほぼ一様に分布する北部北上山地を対象として1970年以降の6時期に撮影された空中写真から地形と植生の状況を判読し, 2000年に作成した5m-DEMから各種地形量を算出した。本稿では, これらの結果にもとづいて地形や植生の経時変化と相互関係について検討した結果を述べる。1970年代のLANDSAT衛星以降, 植生などの環境条件の評価には衛星画像が用いられ⁹⁾, 最近は高分解能の衛星画像(例えばIKONOS画像)

* (財)鉄道総合技術研究所 Railway Technical Research Institute (会員)

E-mail: ohta@rttri.or.jp

** 国際航業(株) Kokusai Kogyo Co., LTD. (会員)

*** 北栄調査設計(株) Hokuei survey and design Co., LTD.

により災害斜面等の微小な範囲の解析も可能となっている。このような衛星画像を用いることで前述の自然災害の定量的な予測が可能になると考えられるが、高分解能の衛星画像は最近4～5年間のものしかなく、また地形判読に適用可能なステレオ画像の配信が少ないことから今回は空中写真を用いて検討することとした。

2. 調査地域の概要

2.1 調査地域の選定条件

今回は地形条件と植生条件が斜面崩壊や土石流などの土砂災害地形の発生に与える影響を検討することを目的としているため、検討対象地域を選定する際には以下の条件を満たすことを考慮した。

- ①地質条件の影響を排除するため、応用地質学的条件(岩種、強度など)がある程度一様であると判断できる地域であること。
- ②地域内の植生は均一ではなく、ある程度の多様性が認められること。
- ③比較的多くの災害履歴が確認されていること。
- ④特徴的な土砂災害地形を呈する地すべりについては、変化に要する時間が他の災害に比べ長期間にわたる場合があり、今回は検討対象としないので、顕著な地すべりが存在しないこと。
- ⑤調査対象期間とした1970年以降に、異常な降雨を経験していないこと。

以上を満足する地域として、岩手県中部の三陸海岸より約20km内陸に位置する北部北上山地の茂市周辺地域(図-

1)を選定した。

2.2 地形・地質および植生の概要

調査対象地域は標高100～600mの低山地地形を呈する。対象地域南端部を西から東に流下する閉伊川および対象地域東部を北西から南東に流下する刈屋川沿いには数段の段丘面が認められ、とくに約1万年前に形成された鈴久名面¹⁰⁾が広く分布する。山地部と同様にこれらの段丘面も浸食されており、対象地域は刈屋川および閉伊川を浸食基準面とする地域と判断される。

地質は葛巻―釜石帯¹¹⁾に相当し、主に頁岩、砂岩、チャートおよびこれらの互層からなり、一部にレンズ状の石灰岩やデイサイトの貫入岩が分布する(図-2)¹²⁾。これらの地層はおおむね北西―南東方向の走向で西に傾斜する。また、これらの地層は非浅海性堆積物が複雑に変形した付加体の堆積物に相当すると考えられている¹³⁾。現地踏査の結果、対象地域は頁岩、砂岩が主に分布し、チャートが狭在することを確認した。図-2では調査対象地域の閉伊川沿いに広くチャートが分布するが、現地踏査により周辺と同様に頁岩、砂岩主体であることを確認した。以上から、図-1に示した調査対象地域は応用地質学的には硬質の堆積岩と一括できると判断した。

また、当該地域では後氷期にブナ林が成立したと推定され¹⁴⁾、植生区分としてはブナクラス域(落葉広葉樹)とヤブツバキクラス域(常緑広葉樹)の境界付近に位置する。しかし、中世末より木炭生産のための伐採が行われるようになり、1940年と1953年に木炭生産のピークを迎え、地域全体がほぼ落葉広葉樹の二次林で占められるようになった¹⁵⁾。

図-1 検討対象地域の位置と地形

図-2 対象地域周辺の地質¹²⁾

なお、木炭生産のための伐採は25～30年間隔で行われていた。環境省が実施した第5回自然環境保全基礎調査の植生調査報告書¹⁶⁾では、対象地域の植生はブナクラス域代償植生のクリ・ミズナラ群落、ススキ群団、ヤブツバキクラス域代償植生のコナラ群落、その他にアカマツ植林、スギ・ヒノキ・サワラ植林、落葉針葉樹植林が分布するとされ、植生の多様性があると判断される。

2.3 調査地域における災害履歴

当該地域周辺には、鉄道路線としてJR山田線、岩泉線、国道は106号および340号がある。鉄道沿線では、落石や斜面崩壊などの災害が繰り返し発生している。また、道路でも後述の通常の降雨にともない斜面崩壊などが頻発し、「特定地域に係る激甚災害指定」を繰り返し受けている。

対象地域については1999、2002、2003年に現地踏査を行ったが、その際に植生の分布しないごく新しい時期に堆積したと推定される土石流堆積物や山腹斜面の崩壊地を複数箇所を確認した。また、後述の空中写真判読の結果、継続的に滑動しているような地すべり地形は認められなかった。

2.4 調査地域周辺の降雨履歴

対象地域にもっとも近いアメダス地点「川井」(北緯39度35.9分、東経141度40.9分、調査地域から西南西へ約10km)の月最大日降水量の履歴を図-3に示す。「川井」地点の観測データが1979年以降のみであるため、「宮古」測候所(北緯39度38.8分、東経141度57.9分、調査地から東北東へ約17km)における1970年以降の履歴も同図に示す。「川井」地

表-1 宮古および川井における年確率降水量

確率年	(mm)	
	宮古	川井
3	139.2	95.7
5	164.6	111.7
10	196.6	131.8
30	244.9	162.3
50	267.0	176.1
100	296.7	194.9
150	314.1	205.8
200	326.4	213.6

点では、1979年以降月最大日降水量が100mmを超えたのは8回であり、1990年11月と1998年10月には月最大日降水量が160mmを超える降雨が観測されている。一方、「宮古」測候所では1970年以降、150mmを超える月最大日降水量が13回観測され、2000年7月には319mmの月最大日降水量を記録している。図-3に示した月最大日降水量データから、1970年から2000年の間には両観測地点ともに年による多少の増減はあるものの、年間を通じてはほぼ同様の月最大日降水量の変動を示す降雨条件であったと考えることができる。表-1に両観測地点における年最大日降水量より求めた年確率降水量を示す。「川井」地点では100mmの日降水量は3～5年確率であり、160mmはおおよそ30年確率の降雨に相当する。また、「宮古」測候所では150mmの日降水量は3～5年確率の降雨にあたり、2000年7月の319mmはおおよそ150年確率の降雨に相当する。

二戸市や九戸郡など岩手県北部では1999年10月27～28日に豪雨があり、土砂災害も多く発生した。このとき「川井」地点では月最大日降水量が約30年確率の160mmを超えているが、「宮古」測候所では120～130mm程度(2～3年確率)である。これらのことから、このときの月最大日降水量も当該地域周辺においては、2～5年に1回程度発生する降水量であると判断することができる。また、「宮古」測候所で約150年確率の319mmの日降水量を記録したときに、「川井」地点では5～10年確率に相当する122mmの日降水量が記録されている。調査地は「川井」地点により近いことから、このときには5年確率以上、30年確率以下の降雨があったと推定される。

以上から、調査対象地域では2000年にやや強い強度の降雨が観測されたものの、1970年以降は年単位としては、ほぼ同様の降雨条件であると判断することができる。

3. 調査方法

3.1 細密数値標高データによる地形計測

調査地域の地形条件を定量的に把握するために、図-1に示した調査対象範囲を含む刈屋川流域約48km²の範囲について、航空レーザ測量により格子点間隔が5mの数値標高モデル(DEM)を作成し、それをもとに各種地形計測を行った。

図-3 対象地域周辺の月ごと最大日降水量の履歴
矢印は表-3に示した空中写真の撮影時期を示す。

表-2 航空レーザ測量の諸元

項 目	諸 元
計測高度	対地900m
対地速度	50m/s
スキャン角	±20°
スキャン頻度	10Hz
レーザ高照射頻度	5,000Hz
コース数	30コース
コース間ラップ	30%
データ間隔	2.5m

航空レーザ測量では、航空機に搭載したGPSとIMU(慣性計測装置)によりレーザを送受信する航空機の位置と姿勢を計測し、パルス状に照射されたレーザ光が地表の樹木や地面に反射して戻る時間を計測することにより、航空機と地表の反射面との距離を計測する。地表に樹木等がある場合には、照射されたレーザの一部は葉や枝で反射され、残りの一部は樹木の隙間から地表に到達するため、樹木での反射(ファーストパルス)から地面での反射(ラストパルス)まで複数の反射光が観測される。そのため、地表面の標高値を得るためにはラストパルスをデータとして取得し、このデータからDEMを算出することとなる。

上記のような計測手法の原理から、今回の調査地域において精度よく地表面の標高値を取得するためには、広葉樹が落葉した後で、かつ降雪時期の前に測量を行うことが望ましいと考えられる。そこで、2000年11月下旬に測量を実施した。測量の諸元を表-2に示す。

測量結果からDEMを作成する際、明らかに植生の影響が認められる箇所については空中写真などを参考に手で修正を行った。このような植生の影響などによる測量の誤差がDEMに反映されないように、スムージング処理を行って得られた標高データを用いて地形計測を行った。

DEMを用いた局所地形量、区域地形量、流域地形量の計測は、野上ほか¹⁷⁾の方法に準じて行った。各地形量の名称や定義については太田・八戸¹⁸⁾に詳しく記述されており、本稿も基本的には彼らの名称と定義に従う。表-3に今回計測した地形量とその定義を示す。局所地形量は計測対象格子点を中心とする3×3メッシュ(15m四方)内の格子点の標高値を用いて算出し、区域地形量については5×5メッシュ(25m四方)内の格子点の標高値から求めた。以下では、これらの局所地形量および区域地形量を流域全体ではなく流域内の局所的な斜面の地形量を表す値という意味で「斜面地形量」と称し、それぞれの地形量の名称の接頭語として「斜面」を冠することとする。調査対象地域の流域については、DEMより流域面積が0.0625~2.75km²の範囲にあ

表-3 本論文で用いた地形量とその定義

用 語	定 義
斜面地形量	太田・八戸 ¹⁸⁾ の「局所地形量」と「区域地形量」に相当。 ここでは局所地形量は3×3メッシュ(15m四方)内の格子点の標高値を用いて算出。 区域地形量は5×5メッシュ(25m四方)内の格子点の標高値から算出。
斜面平均傾斜量	太田・八戸 ¹⁸⁾ の「対象格子点に隣接する4格子点の標高から算出した「勾配・傾斜の大きさ」に相当。
斜面起伏量	太田・八戸 ¹⁸⁾ の「起伏量」に相当。 本報告では、5×5メッシュ(25m四方)内の格子点の標高値から算出。
斜面高度分散量	太田・八戸 ¹⁸⁾ の「高度分散量」に相当。 本報告では、5×5メッシュ(25m四方)内の格子点の標高値から算出。
斜面平均比高	太田・八戸 ¹⁸⁾ の「平均比高」に相当。 本報告では、5×5メッシュ(25m四方)内の格子点の標高値から算出。
流域面積	対象とする流域の投影面積 ¹⁸⁾
流域表面積比	対象とする流域の地表面の表面積を流域面積で除した値 ¹⁸⁾
流域起伏量	対象とする流域内の高度差を表す量。
流域高度分散量	対象流域内における標高値の不偏標準偏差。
流域平均比高	流域体積と流域面積の比あるいは流域内の格子点と流域出口点との比高の平均。

図-4 写真判読結果から作成する植生および地形の分布図

表-4 判読に用いた空中写真

撮影年月日	撮影機関	縮尺
1970年5月	林野庁	1/20,000
1977年10月	国土地理院	1/15,000
1985年5月	林野庁	1/16,000
1990年5月	林野庁	1/16,000
1995年5月	林野庁	1/16,000
2001年5月	岩手県	1/10,000

る流域を野上ほか¹⁷⁾の方法に従って自動的に抽出した。抽出する流域の設定面積は、地形図の読図による流域の抽出と類似するように複数回の自動抽出の試行錯誤によって決定した。抽出されたのは図-1に示した16溪流であり、これらの流域について流域地形量の計測を行った。地形図上では図-1に示したKR-2とKR-3の間にも流域が認められるが、今回の自動抽出では刈屋川沿いの沖積低地面で流路が迷走し、流域として抽出されなかった。このため、この領

域については地形計測ができなかったため、以降の検討対象から除外した。

3.2 空中写真判読

調査対象地域の植生状況や地形の経年変化を把握するために、1970～2001年の間の6時期に撮影された空中写真(表-4)を用いて植生および地形についての判読を行った。各時期の写真の判読結果から植生および地形の分布図(図-4)を作成し、変化状況を把握した。判読項目は以下のとおりである。

- ①土砂災害地形：崩壊地(発生時期を問わない)、ガリーおよびガリー浸食の著しい渓流区間、溪床堆積物など
- ②地形条件：遷急線、地すべり地形、段丘、崖錐、沖積錐、扇状地など
- ③植生状況：種類、繁茂の程度、同一植生の分布範囲など

- ④人工改変状況：道路(林道など)、作業道、採石場、切土、伐採および植林、砂防ダムおよび治山堰堤など

これらの判読項目については、表-4に示した空中写真の縮尺で判読可能な大きさを有するものを読み取った。

3.3 現地踏査

上記の空中写真の判読から得られた土砂災害地形や地形条件、植生状況、人工改変状況および空中写真では判読が困難な微地形と植生について、現地踏査を行い確認した。

4. 現地形条件が土砂災害地形の発生に及ぼす影響

4.1 対象流域の北部北上山地における地形的位置づけ

3.1で抽出された検討対象の16流域について、DEMを用いた地形計測結果から得られた代表的な流域地形量を表-5に示す。また、図-5に航空レーザ測量を行った範囲で抽出

表-5 検討対象16流域の代表的な地形量の値

流域番号	平均標高(m)	斜面地形量の流域平均				流域地形量					災害地形分布状況		
		斜面平均傾斜量の平均(°)	斜面起伏量の平均(m)	斜面高度分散量の平均(m)	斜面平均比高の平均(m)	流域面積(km ²)	流域表面積比	流域起伏量(m)	流域高度分散量(m)	流域平均比高(m)	ガリー長(km)	崩壊箇所数	溪床堆積物分布面積(km ²)
HL-1	335.3	36.54	19.07	5.43	9.53	1.82	2.70	578.0	109.8	268.1	1.4	18	0.128
HL-2	268.3	37.61	19.80	5.63	9.92	0.64	2.93	387.2	82.2	204.3	3.3	3	0.017
KL-1	329.2	36.00	18.76	5.31	9.40	0.74	2.78	492.6	108.5	267.3	0.7	4	0.033
KL-2	279.5	37.62	19.91	5.61	9.98	0.35	3.04	457.1	99.5	221.2	0.5	6	0.023
KL-3	179.4	34.48	17.70	5.05	8.93	0.08	2.48	246.0	58.3	122.7	0.1	0	0.000
KL-4	211.8	35.31	18.38	5.21	9.23	0.15	2.71	320.4	76.8	156.7	0.7	2	0.000
KL-5	167.5	31.45	15.97	4.60	8.03	0.10	2.55	256.7	69.2	113.6	0.5	0	0.000
KL-6	138.2	25.44	12.64	3.53	6.32	0.06	1.76	205.7	59.3	86.2	0.6	0	0.000
KR-1	358.7	37.14	19.60	5.57	9.83	1.27	2.93	606.1	130.3	279.0	1.7	16	0.036
KR-2	307.8	35.36	18.25	5.20	9.16	0.24	2.56	382.9	84.0	230.6	0.4	0	0.003
KR-3	291.2	34.68	18.25	5.07	8.95	0.38	2.16	417.4	97.0	226.1	0.5	5	0.016
KR-4	216.4	33.66	17.57	4.90	8.84	0.12	2.38	284.4	62.3	151.5	0.2	5	0.003
KR-5	142.3	28.08	14.05	4.00	7.08	0.07	2.20	162.7	43.5	79.8	0.0	0	0.000
KR-6	275.3	35.29	18.24	5.16	9.15	0.62	2.25	407.0	97.3	207.6	1.7	13	0.023
KR-7	284.1	33.70	17.08	4.90	8.61	0.42	2.04	406.2	92.3	227.2	1.3	2	0.003
KR-8	258.9	34.04	17.58	4.96	8.86	0.41	2.22	386.8	87.9	204.8	0.6	5	0.000

図-5 刈屋川支流の流域面積と流域地形量

された刈屋川の支流となる全76流域と検討対象16流域の流域面積と流域地形量の関係を示した。

検討対象範囲で抽出された16流域は流域面積が0.06～1.82km²であり、流域表面積比は1.76～3.04の範囲にある(表-5)。流域高度分散量および流域平均比高はそれぞれ43.5～130.3m、79.8～279.0mの範囲にある。これらの流域は、対象地周辺の刈屋川支流である他流域と比較すると、流域面積0.05km²以上の流域の中では、平均的な地形の特徴を有するといえる(図-5)。大局的に見ると、当該地周辺の流域では流域起伏量、流域高度分散量、流域平均比高は流域面積と相関がみられ、検討対象溪流も同様の特徴がある。これらのことから、検討対象の16流域は北部北上山地東部の刈屋川流域において特異な地形を示す流域ではなく、刈屋川流域における地形発達過程のシステム内にあると考えることができる。

4.2 地形量と土砂災害地形分布の関係

次に、用いた5m-DEMは2000年に作成したデータであるので、地形条件が土砂災害地形の発生に及ぼす影響を検討するために、2001年の判読結果による土砂災害地形の分布状況とDEMから求めた地形量の分布との関係を検討した。

まず、流域全体の地形の特徴と土砂災害地形の分布状況を検討する。図-6に各流域における流域表面積比、流域起

伏量、流域平均比高および流域高度分散量に対する1km²あたりの崩壊箇所数および流域内の溪床堆積物面積比率を示す。この四つの地形量はいずれも地形が険しくなる、あるいは凹凸が大きくなると大きな値となる地形量であるので、これらの地形量が大きな流域は地形が険しく浸食活動も活発であると考えられる。図-6では、起伏に関係する指標である流域起伏量、流域平均比高および流域高度分散量で崩壊箇所数・溪床堆積物面積比率との相関がわずかに見られる程度で、勾配に関係する指標の流域表面積比ではほとんど関係が見られない。

次に、各流域における斜面地形量の流域平均値と1km²あたりの崩壊箇所数および流域内の溪床堆積物面積比率との関係を図-7に示す。図に示すいずれの斜面地形量の平均値においても崩壊地や溪床堆積物の分布が確認されない流域で小さい値を示す。また崩壊地や溪床堆積物が認められる流域については、これらの斜面地形量の流域平均は崩壊箇所数や溪床堆積物分布比率と弱いながらも正の相関を示す。

図-6, 7には、各地形量と崩壊箇所数および溪床堆積物分布比率との間の決定係数(R)を付記した。決定係数では、流域地形量も斜面地形量の流域平均値も土砂災害地形の分布量と同程度の相関がある。しかし、同じ地形条件でも判読した写真が撮影された時点で必ず土砂災害地形が分布し

図-6 検討対象16流域における流域地形量と土砂災害地形分布量の関係

図-7 検討対象16流域における斜面地形量の流域平均値と土砂災害地形分布量の関係

ていたとは限らないので、図-6, 7の散布図における上限値に意味があると考えられる。図-7の斜面地形量の流域平均値と土砂災害地形の分布量との関係の方が、図-6の流域地形量の場合よりも、上限値に近い所に各溪流の値が分布している。このことから、流域内の崩壊現象や崩壊物質の堆積は流域全体の地形的な特徴ではなく、流域に分布するそれぞれの斜面の局所的な地形条件に左右される可能性が考えられる。

5. 植生変化が土砂災害地形の発生に及ぼす影響

5.1 空中写真判読による植生変化の状況把握

表-6に16流域の各時期における空中写真判読結果と各時期の間での植生変化および地形変化の特徴を示す。空中写真判読では詳細な植生区分が困難であったため、広葉樹はコナラ・クリ・落葉広葉樹群落あるいは伐採後の若齢二次林に区分し、スギおよびヒノキなど植林された針葉樹はスギ植林の幼齢林またはスギ植林の壮齢林として区分した。針葉樹のうちアカマツは他の針葉樹から区別可能であったので、アカマツ・落葉広葉樹群落として区分した。この群落は分布が尾根に限られているので、表-6中の植生状況では省略した。

図-8に植生変化の例として、流域KR-1の各時期の空中写真による判読結果を示す。1970年には流域の広い範囲が

伐採後の二次林で占められており、1960年代に広く伐採が行われていたことがうかがえる。1977年には南東向き斜面の伐採後二次林がコナラ・クリ・落葉広葉樹群落に成長し、1985年には流域のほぼ全域で植生が回復している。1990年以降、再度の伐採とスギなどの植林が実施され、2001年には流域上流部がスギ幼齢林、下流部が伐採後二次林で占められる。

5.2 植生変化と土砂災害地形の分布状況の関係

表-6に示すように、1995～2001年の間に16流域中9流域で判読できたガリー延長の増大や崩壊箇所数の増加が認められる。このような土砂災害地形の分布量が増加した流域では、この期間あるいはそれ以前にコナラ・クリ・落葉広葉樹群落が伐採により減少し、伐採箇所の植生が2001年には若齢二次林やスギの幼齢林などで、十分植生が回復していない状態にある(表-6)。そこで、検討対象の16流域について、流域を占める植生の比率と土砂災害地形の分布量の関係を経時的に検討した。その結果、植生状況の変化と土砂災害地形の分布量の変化から、対象とした16流域は表-7に示す五つに区分できることがわかった。

それぞれのグループの代表的な流域について、各植生の占有率および土砂災害地形の分布量の経時変化を図-9に示す。各グループの植生変化および土砂災害地形分布の変化に関する特徴は以下のとおりである。

表-6 検討対象16流域における植生変化および地形変化の空中写真判読結果

撮影年	1970	1977	1985	1990	1995	2001
HL-1	植生状況 BF, SS, 一部CC, CF	大部分BF, 一部CF	BF, 一部CF, CC	BF, CC, 一部CF	BF, SS, 一部CF, CC	BF, SS, 一部CF
	ガリー延長(km) 1.47	1.48	1.02	1.02	1.02	1.42
	崩壊箇所数 11	9	14	28	9	18
HL-2	植生状況 大部分BF, 一部CC	BF(アカマツ多), ごく一部CF	BF(アカマツ多), ごく一部CF	BF(アカマツ多), 一部CC, ごく一部CF	BF(アカマツ多), 一部SS, ごく一部CF	BF(アカマツ多), 一部SS, ごく一部CF
	ガリー延長(km) 3.52	3.01	3.01	3.01	3.01	3.31
	崩壊箇所数 4	3	4	3	3	3
KL-1	植生状況 BF, CC, CY 一部CF	全域BF	BF, 一部CC	BF, CC, CF	BF, CY, CF	BF, CY
	ガリー延長(km) 1.05	0.55	0.55	0.55	0.55	0.74
	崩壊箇所数 4	6	3	3	3	4
KL-2	植生状況 BF, CC, 一部CF	BF, 一部CY, SS, CF	BF, CF	BF, CF	BF, CF	BF, CF, 一部SS
	ガリー延長(km) 0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	崩壊箇所数 2	3	2	2	2	6
KL-3	植生状況 BF, CC	大部分BF, 一部SS	全域BF	全域BF	全域BF	BF, CF
	ガリー延長(km) 0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	崩壊箇所数 0	0	0	0	0	0
KL-4	植生状況 BF, CC	BF, SS	全域BF	全域BF	全域BF	BF, 一部溪流沿いCF
	ガリー延長(km) 0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
	崩壊箇所数 2	2	2	2	2	2
KL-5	植生状況 大部分BF	全域BF	全域BF	全域BF	全域BF	CF, BF
	ガリー延長(km) 0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	崩壊箇所数 0	2	0	0	0	0
KL-6	植生状況 BF, CC	全域BF(大部分 はコナラ類からア カマツに)	全域BF	全域BF	全域BF	BF(ほぼすべてア カマツ), CF
	ガリー延長(km) 0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
	崩壊箇所数 0	0	0	0	0	0
KR-1	植生状況 SS, BF, 一部CC	BF, 一部SS	BF, ごく一部CC	BF, CC, 一部CY	CY, BF, CC, 一部SS	CY, SS, 一部BF
	ガリー延長(km) 3.47	1.57	1.57	1.57	1.78	1.67
	崩壊箇所数 7	4	4	4	14	16
KR-2	植生状況 BF, CY, CC	BF, CY	BF, CF, CC	BF, CF	BF, CF	BF, CF
	ガリー延長(km) 0.56	0.40	0.40	0.43	0.40	0.43
	崩壊箇所数 0	0	2	0	0	0
KR-3	植生状況 BF主体, 一部CC, CY, CF	BF, CY	BF, CY	BF, CF	CC, BF, CF	SS, BF, CF
	ガリー延長(km) 0.63	0.59	0.54	0.54	0.54	0.54
	崩壊箇所数 1	0	1	0	0	5
KR-4	植生状況 全域BF	全域BF	全域BF	全域BF	全域BF	CC, 一部BF
	ガリー延長(km) 0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.17
	崩壊箇所数 2	2	2	2	2	5
KR-5	植生状況 BF, 一部SS, CF	BF, 一部CF	BF, 一部CF	BF, 一部CF	CC, 一部CF	CC, 一部CF
	ガリー延長(km) 0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	崩壊箇所数 0	0	0	0	0	0
KR-6	植生状況 BF, 一部CF, CC	BF, 一部CY	BF, 一部CY	BF, 一部CF	BF, 一部CF	CC, 一部BF, CF
	ガリー延長(km) 2.14	1.54	1.54	1.54	1.54	1.71
	崩壊箇所数 5	3	3	3	3	13
KR-7	植生状況 BF, CC, 一部CF	BF, CF, CY	BF, CF, CY	BF, CF	BF, CF	BF, CF, 一部(下流部)CC
	ガリー延長(km) 1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
	崩壊箇所数 2	2	2	2	2	2
KR-8	植生状況 BF主体, CC	BF, CY, ごく一部CF	BF, CY, ごく一部CF	BF, CF	BF, CF	CC, CF, BF
	ガリー延長(km) 0.55	1.16	0.64	0.55	0.55	0.55
	崩壊箇所数 5	7	5	5	5	5

凡例

植生状況 BF:コナラ・クリ・落葉広葉樹群落, CF:スギ植林(荘齡林), CY:スギ植林(幼齡林), CC:伐採跡地, SS:若齡二次林

グループⅠ：1970年から2001年にかけて植生がコナラ・クリ・葉樹群落に回復するのにともない、土砂災害地形は減少し、伐採開始後に増加する。

グループⅡ：植生の変化はほとんど見られないが、土砂災害地形の分布量が大きく変動する。

グループⅢ：1990年以降に広範囲で伐採が行われているが、土砂災害地形の増加など変化は認められない。

グループⅣ：1990年以降に伐採が行われ、それにともなって1995年以降に土砂災害地形の分布量が増加する。流域KR-7はガリー延長や崩壊箇所数の変化はないが、2001年に伐採跡地内の流路で溪床堆積物が増加したため、このグループに分類した。

グループⅤ：植生分布に大きな変化はなく、土砂災害地形の分布量にも変化がない。

図-8 流域KR-1の各時期の判読結果

表-7 各流域グループの植生変化、土砂災害地形分布、流域の地形の特徴

グループ	対象流域	植生変化の特徴	土砂災害地形の分布状況	流域の地形の特徴
I	HL-1, KL-1, KR-1	複数の植生区分の分布率大きく変化	植生区分の分布率変化にともなう分布数量の大きな変動	・流域面積大(0.7km ² 以上), かつ流域表面積比もやや大(2.70-2.93) ・斜面平均傾斜量の流域平均が36.0-37.14°
II	HL-2, KL-2	コナラ・クリ・落葉広葉樹群落(アカマツ・落葉広葉樹群落含む)が80%以上でほぼ一定	分布数量の大きな変動	・流域表面積比が大(2.93-3.04) ・斜面平均傾斜量の流域平均が37.6°以上
III	KL-5, KR-5, KR-8	1990年以降にコナラ・クリ・落葉広葉樹群落伐採	分布数量ほぼ変化なし	・流域面積が小さい(0.1km ² 以下), あるいは流域面積が中程度(0.41km ²)の場合は流域表面積比が小さい(2.22)
IV	KR-3, KR-4, KR-6, KR-7	1990年以降にコナラ・クリ・落葉広葉樹群落伐採	・1995年以降に分布数量が増加 ・植生変化に対する分布数量が遅れて増加	・中程度の流域面積(0.38-0.67km ²)で小さな流域表面積比(2.04-2.25), あるいは小さな流域面積(0.12km ²)で中程度の流域表面積比(2.38) ・斜面平均傾斜量の流域平均が35.3°以下
V	KL-3, KL-4, KL-6, KR-2	変化なし	変化なし	・小さな流域面積(0.24km ² 以下) ・斜面平均傾斜量の流域平均が35.4°以下

6. 考 察

6.1 土砂災害地形の発生と地形量および植生変化量との関係

図-9に示した結果および前述した各溪流の地形的特徴などから、グループごとの地形条件・植生変化と土砂災害地

形発達の関係は以下のようにまとめられる(表-7参照)。図-10には各流域の地形的特徴をグループごとに記号を変えて示した。

①グループIの3流域は植生の回復・伐採にともなう土砂災害地形の消長が顕著である。これらの流域は、対象流域中もっとも流域面積の大きい流域(0.7km²以上)に相当し、

図-9 代表的な流域の植生占有率と土砂災害地形分布量の経時変化

図-10 流域グループごとの地形的特徴

表面積比(2.70~2.93), 斜面平均傾斜量の流域平均(36.0~37.14°), 斜面高度分散量の流域平均(5.31~5.57m)などが比較的大さい。

②植生の変化が小さいにもかかわらず土砂災害地形の変化が顕著なグループⅡは, 表面積比(2.93~3.04)のほか斜面平均傾斜量(37.6°以上), 斜面起伏量(19.8m以上), 斜面高度分散量(5.6m以上)など斜面地形量の流域平均値が対象流域中もっとも大きい。

③グループⅢは1990年以降の伐採にかかわらず土砂災害地形の増加が見られない。これらの流域は, 流域面積が0.1 km²以下と小さいか, あるいは流域面積が0.4km²程度の場合は表面積比が2.2程度で他の流域に比べ小さい特徴がある。

④グループⅣでは1990年以降の伐採にともなう土砂災害地形が1995年以降に増加している。これらの流域は表面積比が2.4以下を示し, とくに流域面積が0.3~0.7km²では, 同程度の流域面積を示すグループⅡの流域表面積比が3.0前後を示すのに比較して, 顕著に小さい。

⑤植生, 土砂災害地形ともに変化のないグループⅤの4流域は, 流域面積が0.3km²以下であるが, 他の地形的特徴は見られない。

以上のように, 今回の検討対象流域のうちグループⅠ, Ⅳでは植生の変化にともなう土砂災害地形の消長が明らかに認められる。また, グループⅠ, Ⅱでは土砂災害地形の発生への地形条件の関与が推定される。さらに, 土砂災害地形の増加が認められないグループⅤは, 流域面積が小さく, 植生の変化が認められない流域である。これらのことから, 流域内の土砂災害地形の発生や増加には, 現在の地形条件と植生の変化が影響していることが推定される。

また, グループⅢの流域では土砂災害地形の増加が認められないが, グループⅣと地形的な特徴が類似しており, かつ植生変化も1990年以降の伐採などほぼ同じ変化を示すことから, 今後土砂災害地形の発生や増加が予想される。

6.2 地形条件と植生条件による災害危険性評価の可能性

前節で述べたように, 土砂災害地形の発生や増加に現地形の条件と植生の変化が影響すると考えられるので, 災害発生の危険性を地形条件と植生条件の組み合わせにより評価することが可能と思われる。そこで, 例として2001年の空中写真で判読される流域内の斜面崩壊について, 2000年作成のDEMから求められる地形条件と2001年の空中写真から判読される植生条件から土砂災害の発生危険性について評価を試みる。

第4章で述べたように, 流域内の崩壊地の数量は流域地形量よりも斜面地形量の流域平均値とよい相関を示すことから, 流域内の斜面崩壊に影響する地形因子のひとつとして斜面平均傾斜量の流域平均値が挙げられる(図-7参照)。

また, 図-9に示した植生と土砂災害地形の経時変化から, 伐採によりクリ・コナラ・落葉広葉樹群落が減少し, 伐採裸地, 伐採後二次林およびスギ幼齢林の分布率が増加すると土砂災害地形の分布量が増加する。このことから, 斜面崩壊の発生を促進する植生条件として伐採裸地, 伐採後二次林およびスギ幼齢林の分布率が考えられる。図-11に2001年時点での流域内の斜面平均傾斜量の平均値, 伐採裸地+伐採後二次林+スギ幼齢林の分布率および単位面積あたりの崩壊箇所数の関係を3次元グラフで示す。また, 図-12には図-11の3平面へ投影したグラフを示す。これらの図から, 伐採裸地+伐採後二次林+スギ幼齢林の分布面積が大きくても斜面平均傾斜量の平均が30°以下であれば崩壊地が分布せず, 逆にこれらの植生分布率が5%程度でも斜面平均傾斜量の平均が37°を超えると崩壊が発生していることがわかる。さらに, 伐採裸地+伐採後二次林+スギ幼齢林の分布面積と斜面平均傾斜量の平均がともに大きい場合には単位面積あたりの崩壊発生率が大きくなる。同様

図-11 2001年における平均傾斜量の流域平均値, 伐採裸地+伐採後二次林+スギ幼齢林の分布率と単位面積あたりの崩壊箇所数の関係を示す3次元図

図-12 図-11の平面展開図

の傾向が、2001年時点での流域面積に対する溪床堆積物分布面積の比率でも認められる(図-13)。

次に、2000年のレーザ測量で得られた地形データ(DEMデータ)が、1970年以降の約30年間であまり変化がないとして、表-3の空中写真から判読した各時期の植生条件においても図-11に示した関係が認められるかを検討した。図-14に1960年代までの伐採から植生が回復していない1970年における結果とその後植生がほぼ回復した1985年の結果を

図-13 2001年における斜面平均傾斜量の流域平均値、伐採裸地+伐採後二次林+スギ幼齢林の分布率と流域面積に対する溪床堆積物分布面積の比率の関係を示す3次元図

図-14 1970年と1985年における斜面平均傾斜量の流域平均値、伐採裸地+伐採後二次林+スギ幼齢林の分布率と単位面積あたりの崩壊箇所数の関係を示す3次元図

示す。図-11と比較すると、1970、1985年とも2001年に比べて単位面積あたりの崩壊箇所数が少ないが、1970年の結果では2001年と同様に、伐採裸地+伐採後二次林+スギ幼齢林の分布面積の占有率と斜面平均傾斜量の流域平均の両者が崩壊箇所数に影響していることが言えそうである。一方、1985年の結果では、伐採裸地+伐採後二次林+スギ幼齢林の分布面積の占有率がすべての流域で低いため、崩壊箇所数が斜面平均傾斜量の流域平均の影響を受けていると言えそうである。

以上のことから、災害発生を促進するような植生条件(ここでは伐採裸地、伐採後二次林、スギ幼齢林)と斜面崩壊に影響する地形因子(ここでは斜面平均傾斜量の流域平均)とを適切に設定することにより、それらの値を用いて斜面崩壊などの土砂災害地形が発生する可能性を評価できると推定される。例えば、図-12の右下図の領域Aで示される斜面平均傾斜量の条件と植生分布の条件を満たす流域ではほとんど崩壊が発生しないことが予想される。そして、同図で領域BからCへ崩壊発生の可能性が高くなり、領域Cの斜面平均傾斜量の条件、植生分布の条件を示す流域では崩壊発生の危険性がかなり高いと考えられる。

7. ま と め

北部北上山地を対象に、空中写真を用いた判読により地形と植生の経時変化を把握し、またDEMを用いて現地形の定量的な計測を行った。これらから現地形の諸条件、植生の経時変化および土砂災害地形の発生や消長との相互関係を検討した。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1)流域の土砂災害地形の発生や消長には現地形条件の影響が明瞭に認められる場合もある。
- 2)土砂災害地形の消長に、流域内における植生の占有率の変化が強く影響を与える流域が認められる。
- 3)地質条件や気象条件に差がない場合には、土砂災害地形の発生や消長に現地形条件と植生変化の両者が大きな要因として作用すると推定される。
- 4)災害発生を促進するような植生条件と斜面崩壊に影響する地形因子とを適切に設定することにより、それらの値を用いて斜面崩壊などの土砂災害地形が発達する可能性を評価できると推定される。

地形条件と植生条件の両者を考慮した災害評価については多くの研究例があるが、両条件を数値で表し、定量的に災害評価を行った事例はあまり報告されていない。しかし今後は、植生の評価などは高分解能の衛星画像により、地形条件については細密DEMにより定量的に特徴を把握できるので、GIS等を用いて災害と地形・植生の関係を明らかにすることによって、定量的に災害を予測することが可能になると考えられる。

謝辞 本研究を行うにあたり、(財)鉄道総合技術研究所 木谷日出男博士、榎本秀明博士には多くの議論をしていた。また、2名の匿名査読者からは、有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表します。

引 用 文 献

- 1) 羽田野誠一(1974)：最近の地形学，8.崩壊性地形(その1)，土と基礎，Vol.22，No.9，pp.42-49.
- 2) 太田岳洋(2001)：DEMを用いた地形計測の自然災害評価への応用，資源・素材2001(札幌)企画発表・一般発表(A)(B)講演資料，pp.353-356.
- 3) 菊池多賀夫(2001)：地形植生誌，東大出版会，220p.
- 4) 鈴木雅一(2002)：航空写真による最近57年間の丹沢山地北部の崩壊地と森林の変遷，砂防学会誌(新砂防)，Vol.54，No.5，pp.12-19.
- 5) 平松晋也・黒岩知恵・荒砂隆文(2002)：森林伐採や植栽面積の変化が流域の土砂生産状況に及ぼす影響，砂防学会誌(新砂防)，Vol.55，No.4，pp.3-11.
- 6) 黒岩知恵・平松晋也(2004)：森林伐採や植栽を指標とした崩壊面積予測手法に関する研究，砂防学会誌(新砂防)，Vol.57，No.2，pp.16-26.
- 7) 武居有恒監修(1983)：地すべり・崩壊・土石流，鹿島出版会，334p.
- 8) 塚本良則(1998)：森林・水・土の保全，湿潤変動帯の水文地形学，朝倉書店，138p.
- 9) 蔡斌・秋山侃・小阪尚子・永井諭(2004)：高分解能マルチスペクトル衛星画像による林分タイプの分類，日本写真測量学会年次学術講演会予稿集，pp.221-224.
- 10) HIGAKI, D.(1992)：History of Morphogenetic Environments of the Kitakami Mountains, Northeastern Japan, In the Late Quaternary, *The science report of the Tohoku University, 7th series (Geography)*, Vol. 42, No. 2, pp.129-162.
- 11) 大上和良・永広昌之(1988)：北部北上山地の先古統堆積岩類に関する研究の総括と現状，地球科学，Vol.42，No.4，pp.187-201.
- 12) 吉田尚・片田正人(1984)：宮古地域の地質，地域地質研究報告(5万分の1図幅)，地質調査所.
- 13) 箕浦幸治(1985)：北上・阿武隈はどこからきたか—東北日本の地質構造の成り立ち—，科学，Vol.55，No.1，pp.14-23.
- 14) 田村俊和(1997)：なだらかな山地の形成とそこでの暮らし—北上山地と阿武隈山地—，日本の自然，地域編2 東北(小島圭二・田村俊和・菊池多賀夫・境田清隆編)，pp.72-91.
- 15) 岩田悦行(1971)：北上山地の二次植生・特に草地植生に関する生態学的研究，岐阜大農研報，No.30，pp.288-430.
- 16) 環境省自然環境局編(2004)：第5回自然環境保全基礎調査植生調査報告書〔全国版〕，346p.
- 17) 野上道男・隈元崇・中山大地・田中靖・乙黒善宏(1998)：DEMデータ処理技術講習会テキスト，日本地形学連合，207p.
- 18) 太田岳洋・八戸昭一(2006)：数値地形モデルによる地形計測の現状と応用例，応用地質，Vol.46，No.6，pp.347-360.

(2007年1月18日受付，2008年5月16日受理)

Jour. Japan Soc. Eng. Geol., Vol.49, No.4, pp.204-216, 2008

Topographical Attribute and Vegetation Change on Increase of Topography of Landslide Disaster —Examination in the Northern Kitakami Mountains—

Takehiro OHTA, Atsushi HASEGAWA, Tomoyuki TAKAMI and Akihiro KAWAMURA

Abstract

The changes of disaster topography and vegetation in northern Kitakami mountains area were investigated by aerial photograph on six periods during 1970 to 2001. The hard sedimentary rocks considered in homogeneous conditions are distributed in this area. The climate conditions of this area were constant from 1970 to 2001. The geomorphometric study was performed using detailed digital elevation model that was obtained by aerial laser measurement at late autumn in 2000.

As the results of these investigations, it is explained that both of geomorphological conditions and vegetation changes influence the generation and the reduction of disaster topography. For example, the number of collapse increases, as the average value of slope angle in drainage basin becomes large. In proportion to decrease of the distribution area of *Quercus serrata*/chestnut/deciduous broadleaf forest community, the number of collapse increases. However, if the average of slope angle in the drainage basin is small, the basin has no slope collapse even after the deforestation. When the average of slope angle and the ratio of surface area to drainage basin area in the basin become large, many disaster topographies occur in the basin. Therefore, it is assumed that we can assess the possibility of disaster topography developments by the numerical value of vegetation and geomorphology.

Key words : topography of landslide disaster, interpretation of aerial photograph, geomorphometric study, vegetation