

2013年7月豪雨による山形大学上名川演習林の 林道被害状況のGIS解析とハザードマップの作成

飯塚 眞成*・菊池 俊一**

*現在：土地地質株式会社

〒981-3107 宮城県仙台市泉区本田町13-31

**山形大学農学部食料生命環境学科森林科学コース

〒997-8555 山形県鶴岡市若葉町1-23

(平成28年9月9日受付・平成28年12月9日受理)

Structural analysis using GIS of the forest road destruction caused
by 2013 July heavy rain and drawing up a hazard map
in Yamagata University Forest.

Minori IITSUKA* and Shun-ichi KIKUCHI**

*Doboku Chishitsu Co.,Ltd. 13-31 Hondacho Izumi-ku

Sendai, Miyagi 981-3107, Japan

**Faculty of Agriculture, Yamagata University,

1-23 Wakabamachi Tsuruoka Yamagata 997-8555, Japan

(Received September 9, 2016 · Accepted December 9, 2016)

山形大学紀要（農学）第17巻 第4号 別刷（平成29年）

Reprinted from Bulletin of Yamagata University

(*Agricultural Science*) Vol. 17 No.4 (2017)

2013年7月豪雨による山形大学上名川演習林の 林道被害状況のGIS解析とハザードマップの作成

飯塚 眞成*・菊池 俊一**

*現在：土木地質株式会社

〒981-3107 宮城県仙台市泉区本田町13-31

**山形大学農学部食料生命環境学科森林科学コース

〒997-8555 山形県鶴岡市若葉町1-23

(平成28年9月9日受付・平成28年12月9日受理)

Structural analysis using GIS of the forest road destruction caused
by 2013 July heavy rain and drawing up a hazard map
in Yamagata University Forest.

Minori IITSUKA* and Shun-ichi KIKUCHI**

*Doboku Chishitsu Co.,Ltd. 13-31 Hondacho Izumi-ku
Sendai, Miyagi 981-3107, Japan

**Faculty of Agriculture, Yamagata University,
1-23 Wakabamachi Tsuruoka Yamagata 997-8555, Japan
(Received September 9, 2016 · Accepted December 9, 2016)

Summary

Many bank erosions and surface erosions were occurred and forest roads were damaged seriously by the 2013 July heavy rain in Yamagata University Kaminagawa Forest. In this study forest road damaged areas were positioned by the GPS tool and their physical features were analyzed by GIS with digital elevation model of 10 meter mesh. Types of damage were classified by discriminant analysis method using the angle of inclination and the distance from stream. The forest road destruction hazard map of Kaminagawa Forest was drawn by using from these parameters. It was concluded that the scientific method of making hazard map employed in this study could be efficient for making hazard maps for small watersheds.

Key words : 2013 July heavy rain, Yamagata University Kaminagawa Forest, forest road destruction, GIS, hazard map

はじめに

2013年7月に2度にわたり山形県および福島県で発生した梅雨前線性の豪雨は両県に大きな被害をもたらした。鶴岡市荒沢（標高273.0m）のアメダス観測点では7月18日の豪雨イベント時（7月17日12：00～7月18日21：00）に151.0mmを記録した。この7月は断続的に降雨があり、7月1日から18日までの降雨量は684.0mmを記録しており、7月の平年月降雨量の275.2mmを大きく

超えていた。これにより斜面などの土壤水分が非常に湿潤となっており、山地が従来持つ保水能が低下した状態で18日と22日の豪雨イベントを迎えたものと推測されている（土木学会水工学委員会水害対策小委員会調査団，2014）。

山形県鶴岡市上名川に位置する山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センターの上名川演習林もこの2013年7月豪雨により斜面の崩壊や侵食が数多く発生した。同演習林による被災直後の調査では、早田線道の崩

壊、1林班の土石流、芦沢林道では崩壊が39ヶ所、大徳沢林道では11ヶ所の崩壊発生が記録された（山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター上名川演習林, 2014）。林道はガリー状の表面侵食や法面崩壊により通行できない状況となった。林道の下を暗渠により溪流が横断していた箇所では、その暗渠が土砂や流木により閉塞したことにより、林道が大きく洗掘された箇所もあった。林道閉鎖を強いる土砂移動現象の発生は演習林管理業務の効率を低下させ、研究や教育活動のために演習林を訪れる教職員や学生を危険にさらす恐れがある。今回のような豪雨が発生した際にはどこで土砂移動発生の可能性があるのか、これを図化したもの、すなわちハザードマップをあらかじめ作成し、提示することができれば林道網の整備・管理や演習林利用者の安全確保に貢献できる。

本研究では、2013年7月に発生した林道被害箇所をGPSで測位し地図上に落とした上で林道被害に関わる地形条件をGIS解析から検討し、今後の豪雨発生の際の危険箇所をマッピングすることを目的とした。

方 法

1. 対象地の概要

研究対象としたのは、先述の上名川演習林（北緯38°33'~34'、東経139°50'~53'）である（図-1）。本演習林は越後山脈朝日山地の北端に位置し、湯殿山を源とする梵字川の支流早田川流域の一部を占める。面積は約753haで、そのうちの81%をブナ主体の天然生落葉広葉樹の二次林が占める。標高は229~847mの範囲である。演習林のほぼ中央部を流れる早田川の谷底から東西稜線までの標高差は約350~500m、早田川から東西稜線までの水平距離は約2.0kmである。演習林全体の平均傾斜角は30~44度であり、平均傾斜角30度以上の急傾斜地が全面積の約48%を占めている。地質は、第三紀層で越後山系に属し、基岩は早田川右岸の下の子沢、谷地幅、大徳沢流域及び芦沢左岸は輝石安山岩、北流する早田川中央部は花崗閃緑岩、芦沢上流地帯は変朽安山岩、芦沢右岸の松見沢流域は石英粗面岩から構成されている。土壌は右岸の標高500m以下と左岸の400m以下は腐植質に富む森林褐色土壌であるが、それ以上の標高になると風衝地や崩壊地も少なくない。標高約260mの上名川演習林管理棟横露場における年平均降水量は約3,000mm

と多く、年平均最大積雪深は約2.8m（過去最深4.05m（1974年）、過去最浅1.30m（1979年））であり、豪雪地として特筆される（山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター上名川演習林, 2014）。

2. 林道被害状況の調査

本演習林の林道は、東西稜線のほぼ中央部を流れる早田川沿いに開設された早田線を境に、東側に大徳沢林道、西側に芦沢林道が開設されている。その大徳沢林道と芦沢林道において2013年7月豪雨による林道被害状況を2014年7月に調べた。GPS(GARMIN社製GPS map 62s)を持って両林道を踏査し、被害箇所の測位を行った。測位誤差は3m以内である。

現場踏査により確認された73件の林道被害箇所は、その発生要因から、溪流侵食13件、表面侵食38件、法面崩壊16件、その他6件の4種類に区分された。林道脇を沿う、あるいは林道を横断する溪流の氾濫により林道が壊れたタイプは溪流侵食に区分した。林道路面を地表流が侵食したタイプは表面侵食とした。また、山側の林道脇法面が崩れているが表面流や湧水が発生した痕跡が判然としないタイプを法面崩壊と区分した。さらに、落石や地すべりが発生した痕跡が明瞭であったタイプをその他に分類した。

3. GISデータ構築

本研究ではDEM (Digital Elevation Model) データを用いて林道被害地の地形分析と崩壊危険ブロックの抽出を行った。標高DEMデータは国土地理院発行の10mメッシュ (2012) を用いた。上名川演習林の施業境界や林道などのフィーチャデータは、やまがたフィールド科学センターによって2014年3月に作成されたものを用いた（承認番号26林振第769号、承認番号26YFSC第001号）。地図アプリケーションはArcGIS10.2 (ESRI社) を、統計解析にはMicrosoft Excel (マイクロソフト社、以下、エクセル) を用いた。

林道被害状況の現場観察から、2013年7月豪雨の林道被害には地表面傾斜角と近接する河川ネットワークとの距離が関わっていると考え、この二つのパラメータについて解析することとした

1) 傾斜角と傾斜方向の算出

傾斜角は10mメッシュ標高DEMラスタからArcGISのSpatial Analystツールの「傾斜角 (Slope)」を用いて

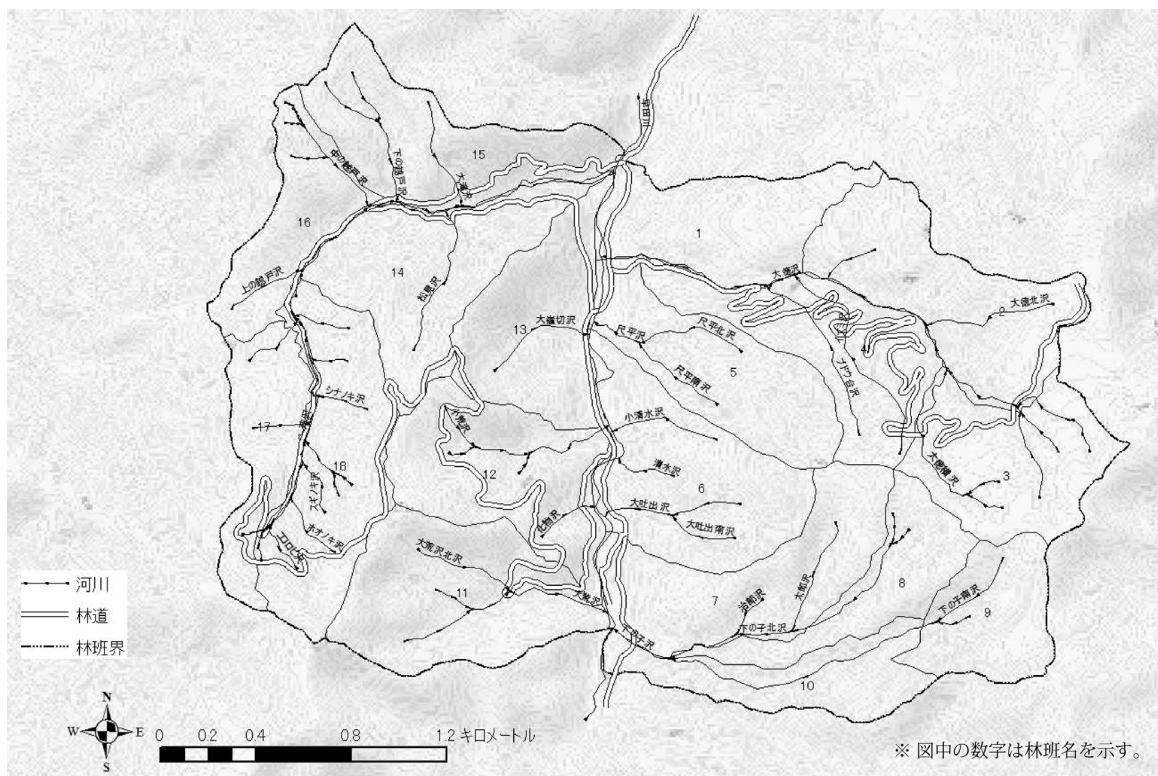


図-1 上名川演習林

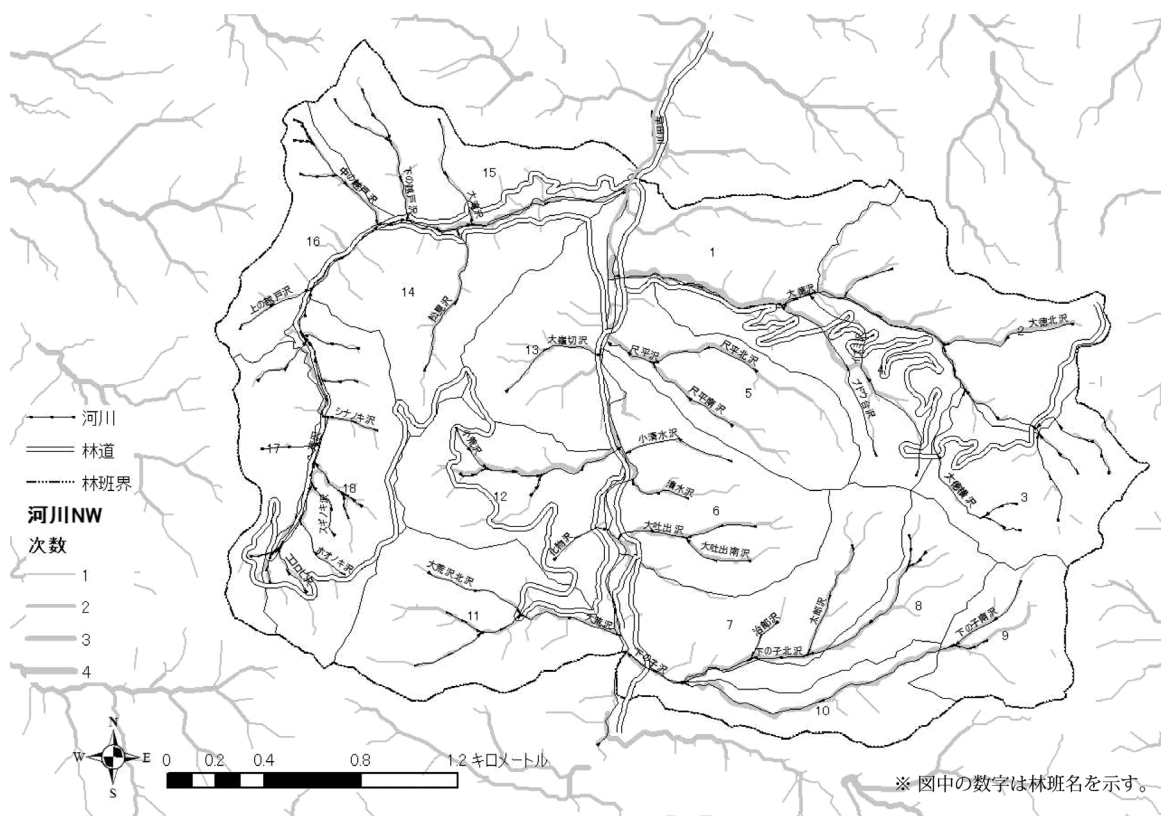


図-2 上名川演習林の河川ネットワーク

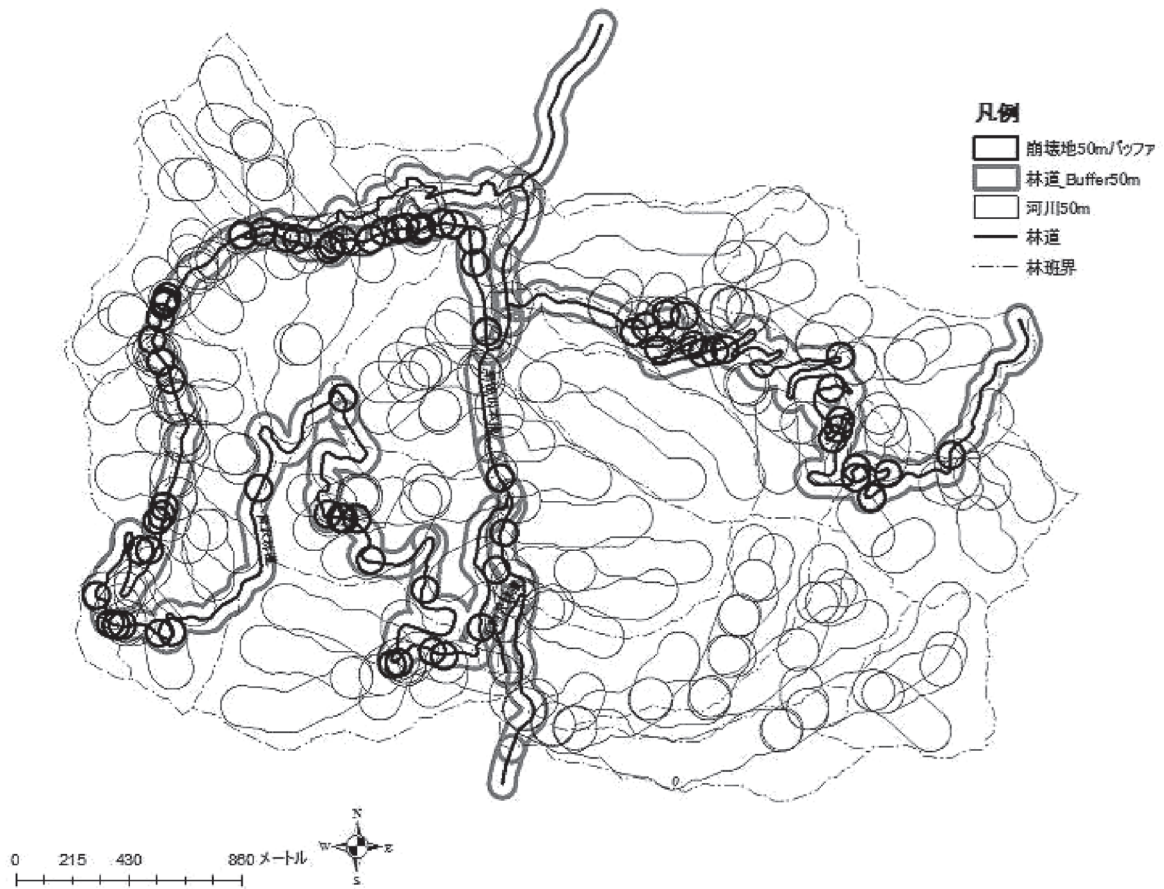


図-3 バッファ距離による崩壊地抽出

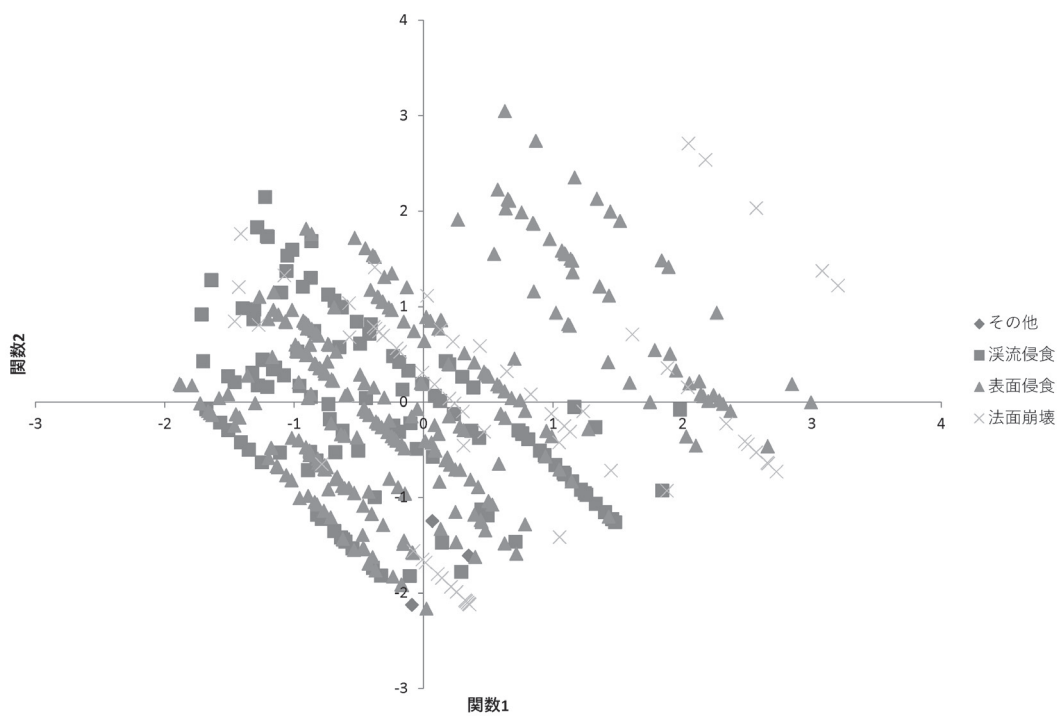


図-4 被害箇所周辺に対する判別分析の群別散布図

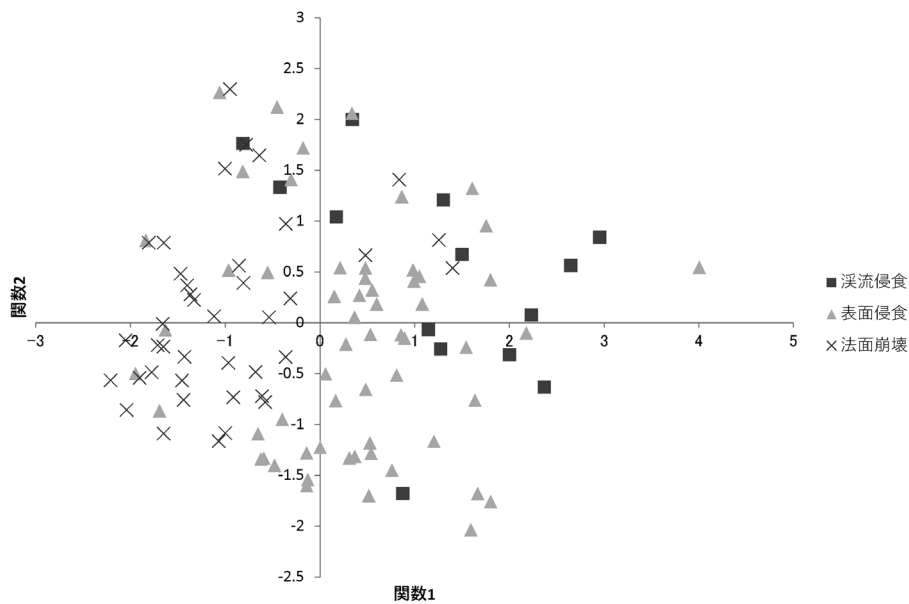


図-5 平均値±標準偏差により再抽出した場合の判別分析の群別散布図

傾斜角のラスタを生成した後、ラスタデータセットの「point to raster」を用いてshapeファイル化したものを用いた。shapeファイル化することでメッシュ1セルにつき、1点のポイントがセル中心に生成される。すなわち10mメッシュのDEMを用いた場合、10m間隔の傾斜角データセットが得られる。さらにポイント化（Shapeファイル化）することによってデータテーブルが構築され、エクセル等の表計算ソフトに利用できる数値データが得られる。

傾斜方向は、DEMからSpatial Analystツールの「傾斜方向（Slope Aspect）」を用いてラスタデータを生成し、上記の傾斜角算出時と同様にポイント化したものを用いた。

なお、早田川本川沿いはDEMデータが構築されておらずに空白地となっているため解析対象とはせず、各図上では河道をエディタツールで補った。

2) 水文解析

ArcGISのツールを用いて水の動態について解析した。標高DEMから流向と累積流量のラスタを作成し、隣接ピクセルからの流向が集まるピクセルを抽出したものを河川ネットワークという。河川ネットワークを特定することで河川が形成されやすい箇所や、集水域から大きな河川までどのように排水されているのかを探ることができる。さらに、河川ネットワークの枝分かれ数から河川に次数を付けることができる。この河川次数は河川の幅

と同義に扱うことができる。また、次数が高い河川は次数の低い河川からの集水があるため、広範囲での降雨などによって、降雨量が少なくとも流量が大きく増える可能性がある。図-2に河川次数ごとに分類した河川ネットワークを示す。

3) 林道被害箇所の地形解析

林道被害箇所のGPS-waypointデータをもとに、その周辺の傾斜角および河川の影響を解析した。林道被害箇所・林道・河川ネットワークの各フィーチャに林道被害箇所が含まれるようにバッファをかけ、その全てのバッファに内包された傾斜角のポイントデータについて解析した。バッファの範囲は林道被害箇所が十分に含まれるように各50mとした。適用したバッファを図-3に示した。林道被害箇所の傾斜角ポイントそれぞれに対して河川ネットワークとの距離を最近接ツールで計測した。

4) 被害域予測のための基準算出

3)で抽出したポイントデータを用いて2013年7月豪雨の林道被害箇所について判別分析を行った。傾斜角と、河川ネットワークとの距離を説明変数としてそれぞれの林道被害発生要因を判別した。判別結果の表および群別散布図を表-1及び図-4に示す。この時点での判別分析結果では、群の分布域の重なりが大きく、的中率は約27%と低い。そこで、各発生要因の平均値および標準偏差を用いてバッファの範囲を改定し、再度ポイントデータ群を抽出し、判別することにした。すなわち、各分類

群内の実測値に関して、傾斜角と河川ネットワークとの距離それぞれの平均値±標準偏差の範囲にあるものを改めて抽出した。以上の操作によって内包されたポイントデータを土砂移動発生予測域とし、再度判別分析を行った結果を表-2、群別散布図を図-5に示す。判別分析においては各従属変数の固有値が小さく重心が一致してしまうため、マハラノビス距離による判別を行った。

次に、林野庁制定の林道規定（平成23年改正版）より2級幅員の値である3mのバッファを林道にかけ、バ

ッファにかかった林道被害発生予測地の位置ポイントデータを抽出した。さらに、林道崩壊予測地をポリゴン化し、林道と重複するものを描画した。

結果と考察

予測された林道被害発生地を図-6に示した。判別分析の結果（表-2）より、それぞれの崩壊要因について傾斜角と河川ネットワークからの距離の範囲値（平均±

表-1 2013年7月豪雨による林道被害地の判別分析結果

基本統計量							
目的変数	変数	n	平均	不偏分散	標準偏差	最小値	最大値
全体	傾斜角	454	20.558	94.890	9.741	1.303	44.187
	河川ネットワークとの距離	454	11.119	69.369	8.329	0.000	37.668
その他	傾斜角	4	7.399	11.768	3.430	3.467	10.578
	河川ネットワークとの距離	4	2.683	9.600	3.098	0.000	5.367
渓流侵食	傾斜角	114	21.290	108.671	10.425	2.994	44.187
	河川ネットワークとの距離	114	8.772	30.330	5.507	0.000	23.410
表面侵食	傾斜角	273	21.315	75.905	8.712	2.609	42.614
	河川ネットワークとの距離	273	11.314	74.205	8.614	0.000	30.266
法面崩壊	傾斜角	63	16.783	132.509	11.511	1.303	41.922
	河川ネットワークとの距離	63	15.057	94.903	9.742	2.878	37.668

判別結果		予測値				判別の中率
		その他	渓流侵食	表面侵食	法面崩壊	
観測値	その他	4	0	0	0	100%
	渓流侵食	17	46	25	26	40.35%
	表面侵食	43	113	45	72	16.48%
	法面崩壊	13	6	17	27	42.86%
					全体	26.87%

No.	崩壊種類		判別得点		各群の重心からのマハラノビスの平方距離			
	観測値	予測値	関数1	関数2	その他	渓流侵食	表面侵食	法面崩壊
1	表面侵食	その他	0.247	-1.154	0.317	1.436	1.587	1.359
2	表面侵食	その他	-0.424	-1.693	0.141	2.593	3.283	3.837
3	表面侵食	その他	-0.624	-1.436	0.361	1.924	2.638	3.541
4	表面侵食	その他	-0.956	-1.007	1.198	1.278	2.033	3.518
5	表面侵食	渓流侵食	-0.263	-0.191	2.111	0.012	0.126	0.880
6	表面侵食	表面侵食	-0.008	0.188	3.303	0.160	0.013	0.519
7	表面侵食	表面侵食	-0.019	0.202	3.354	0.162	0.016	0.542
8	表面侵食	渓流侵食	-1.631	-0.136	4.713	1.778	2.616	5.284
9	表面侵食	渓流侵食	-0.982	0.536	5.544	0.854	1.121	3.077
10	表面侵食	渓流侵食	-0.812	0.694	5.968	0.873	0.997	2.761
11	表面侵食	渓流侵食	-1.509	0.084	5.049	1.494	2.195	4.756
12	表面侵食	渓流侵食	-0.891	0.042	3.490	0.367	0.746	2.437
13	表面侵食	その他	-0.421	-0.941	0.607	0.745	1.189	1.950
14	渓流侵食	渓流侵食	-1.210	1.738	12.667	4.160	4.160	6.772
15	渓流侵食	渓流侵食	-1.284	1.832	13.487	4.653	4.662	7.403
16	渓流侵食	表面侵食	-1.051	1.533	10.987	3.190	3.170	5.504
17	渓流侵食	表面侵食	-0.871	1.300	9.241	2.250	2.209	4.226
18	渓流侵食	渓流侵食	-0.444	0.042	2.943	0.038	0.174	1.245
19	渓流侵食	渓流侵食	-1.410	-0.422	3.294	1.347	2.157	4.438
20	渓流侵食	渓流侵食	-1.570	-0.216	4.293	1.632	2.463	5.024

標準偏差)が求められ、その地形条件を持つ箇所を抽出することができた。また、7割程度の確率で崩壊要因を区別することが可能であった。

表-1ではの中率が3割程度と低い結果になっていたが、各発生要因の平均値および標準偏差からバッファの範囲を改定し、再度ポイントデータ群を抽出し、判別するとの中率は向上した(表-2)。実際の林道被害発生地の構造を類型化し、被害発生の閾値を算出して予測を行う本研究の手法は、土砂移動発生位置の推定方法とし

て有効であると考えられる。

ただし、妥当性を位置的關係から検証してみると溪岸付近で法面崩壊と判別される箇所もあり、これは各土砂移動発生要因の群が明確に区別できていないことが原因であると考えられる。崩壊の要因を明確に分けるには従属変数の種類をさらに増やして解析することが必須である。

以上より、上名川演習林のハザードマップを作成した(図-7)。河川次数の高い箇所では主に溪流侵食による

表-2 林道被害実測地の判別分析結果

基本統計量							
目的変数	変数	n	平均	不偏分散	標準偏差	最小値	最大値
全体	傾斜角	113	19.492	30.482	5.521	11.018	30.219
	河川ネットワークとの距離	113	9.666	34.718	5.892	0.196	27.376
溪流侵食	傾斜角	14	24.162	19.639	4.432	12.924	29.929
	河川ネットワークとの距離	14	14.893	33.542	5.792	4.005	22.239
表面侵食	傾斜角	59	19.302	31.215	5.587	11.368	30.219
	河川ネットワークとの距離	59	11.568	25.656	5.065	0.371	27.376
法面崩壊	傾斜角	40	18.138	24.806	4.981	11.018	28.936
	河川ネットワークとの距離	40	5.031	13.050	3.612	0.196	15.474

判別結果		予測値			判別の中率
		溪流侵食	表面侵食	法面崩壊	
観測値	溪流侵食	11	1	2	78.57%
	表面侵食	13	32	14	54.24%
	法面崩壊	4	1	35	87.50%
全体					69.03%

No.	崩壊種類		判別得点		各群の重心からのマハラノビスの平方距離		
	観測値	予測値	関数1	関数2	溪流侵食	表面侵食	法面崩壊
1	表面侵食	溪流侵食	1.610	1.319	0.851	3.789	8.221
2	表面侵食	法面崩壊	-1.057	2.264	8.586	8.032	4.662
3	表面侵食	法面崩壊	-0.815	1.487	5.331	4.197	1.937
4	表面侵食	溪流侵食	0.341	2.059	3.372	5.025	5.578
5	溪流侵食	溪流侵食	1.303	1.207	0.550	2.799	6.462
6	溪流侵食	法面崩壊	-0.811	1.764	5.958	5.189	2.779
7	溪流侵食	法面崩壊	-0.419	1.331	3.556	2.918	1.823
8	溪流侵食	溪流侵食	1.500	0.672	0.101	2.002	6.509
9	表面侵食	溪流侵食	2.180	-0.101	1.175	3.277	10.082
10	表面侵食	溪流侵食	0.866	1.238	0.748	2.264	4.719
11	表面侵食	法面崩壊	-0.450	2.119	5.643	5.975	4.341
12	表面侵食	表面侵食	0.479	0.438	0.605	0.397	2.264
13	表面侵食	溪流侵食	0.994	0.409	0.073	0.737	4.020
14	表面侵食	表面侵食	-0.126	-1.542	5.950	2.096	3.462
15	表面侵食	表面侵食	0.528	-1.184	3.256	1.026	3.965
16	溪流侵食	表面侵食	0.876	-1.680	4.757	2.496	6.667
17	溪流侵食	溪流侵食	2.955	0.842	3.024	7.722	16.090
18	表面侵食	表面侵食	0.553	0.323	0.516	0.289	2.422
19	表面侵食	表面侵食	0.418	0.266	0.745	0.204	2.002
20	表面侵食	表面侵食	0.483	0.536	0.603	0.529	2.349

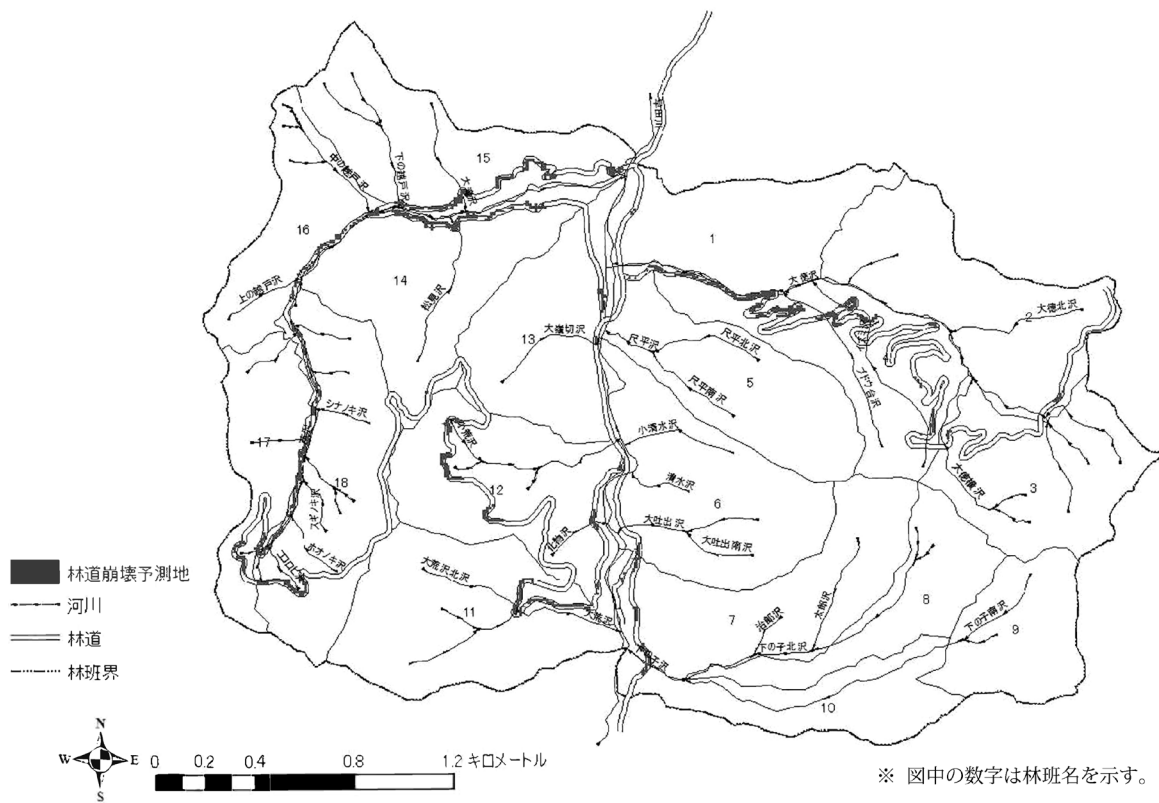


図-6 林道被害発生予測地の分布

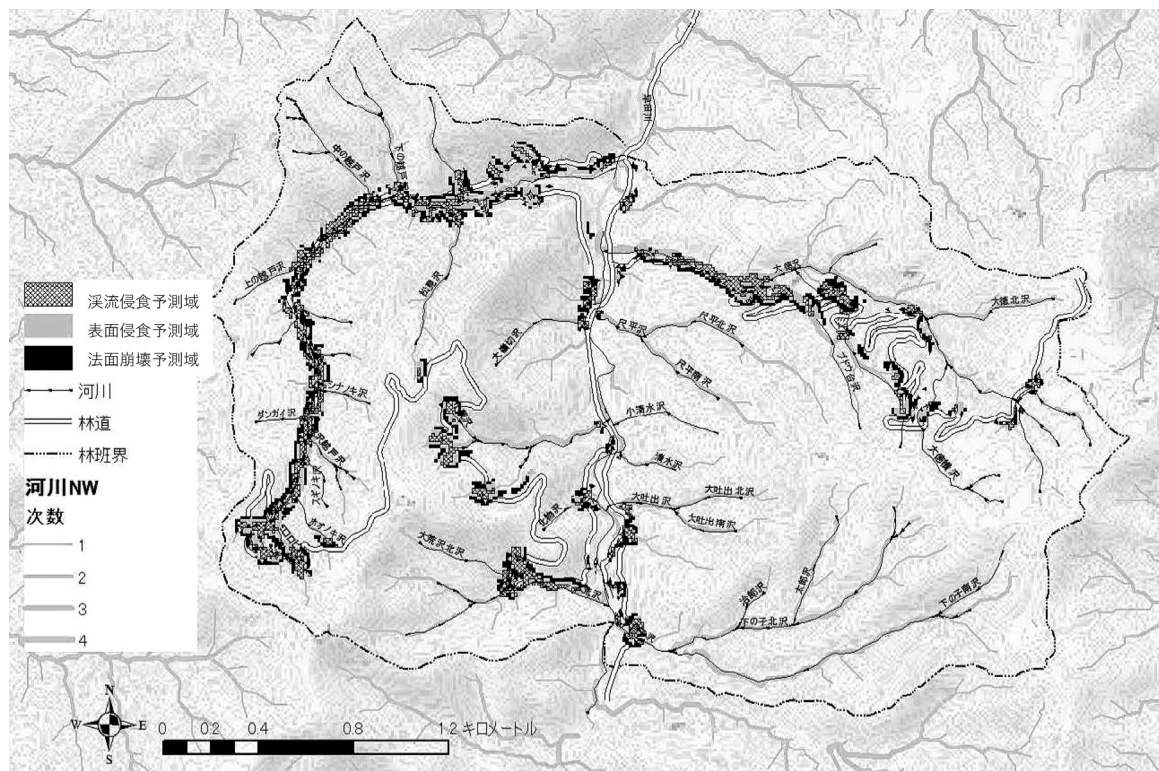


図-7 山形大学上名川演習林ハザードマップ

林道の洗掘・崩壊が発生するおそれがあり、溪流工や治山工による対策が必要であると考えら。また、河川次数の低い箇所では降雨に伴う表面流の発生によってガリー侵食が進行するおそれがあるため、止水板や水抜き暗渠等の設置による表面流発生抑止対策を施す必要があると考える。溪流侵食と表面侵食については同一の河川ネットワークのフィーチャを用いているため、重複率が必然的に高くなったと考えられる。そのため、実際に林道網の保全計画を立てる際には土砂移動発生予測地についてより詳細な現地調査を行う必要がある。

島・橋口(2010)によると、隔年のDEMを用いることで堆積土砂量を計測することができるとされている。土砂堆積量などの変数を増やし、発生要因ごとにより明瞭に区別することでより精度の高い予測が可能になる。今回は10mメッシュデータを用いたため、地形の境界などの関係性を見るには不十分であったと考えられる。より細かいDEMを用いることで林道被害発生予測地の規模や形状もさらに詳細に推定できる可能性が示唆される。

結 論

本研究では標高DEMを用いた林道被害発生地解析から、林道被害発生予測地を図化したハザードマップを作成することができた。この方法は実際に被害が発生した箇所のデータを用いた推定のため、現地調査が可能な比較的小面積の地域に適合した方法であるといえる。現段階では土砂移動発生要因が重複して判別されている箇所があるが、今後は判別解析に用いる変数を増やすことにより明確に発生要因を区別できれば、より明瞭に発生要因の区別が可能となると考える。

謝 辞

本論文は筆頭著者の卒業論文研究を元に作成した論文である。卒業論文研究の指導をいただいた山形大学農学部森林資源計画学分野野堀嘉裕教授に心からお礼を申し上げる。また、現地調査や各種データの提供等に多大なるご協力いただいた山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター流域保全部門(上名川演習林)ロペス ラリー准教授および職員の皆様にも心からお礼を申し上げます。

引用文献

- 公益社団法人土木学会水工学委員会水害対策小委員会調査団(2014)平成25年7月山形豪雨災害調査報告(最終).
<http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/140610yamagata.pdf>
- 島重章・橋口翔(2010)衛星リモートセンシングによる堆積土砂量の推測. 広島工業大学紀要研究編第44巻: 61-68.
- 山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター上名川演習林(2014)第8次森林計画. 58pp, 山形大学農学部, 鶴岡.