

2003年8月出水における額平川流域 の崩壊地とその要因分析について

RESEARCH ON SLOPE FAILURES INDUCED BY FLOOD IN AUGUST 2003 IN NUKABIRA RIVER BASIN AND ITS CAUSES

村上泰啓¹・中津川誠²・高田賢一³

Yasuhiro MURAKAMI, Makoto NAKATSUGAWA and Ken-ichi TAKADA

¹ 北海道開発土木研究所 環境研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

² 北海道開発土木研究所 環境研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

³ 北海道開発土木研究所 環境研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

1. はじめに

2003年8月9日から10日にかけて、停滞前線及び台風10号による豪雨が北海道太平洋沿岸に大きな被害¹⁾をもたらした。なかでも、額平川流域では4,000箇所を超える崩壊地が発生(写真-1, 写真-2)するとともに、膨大な量の土砂や流木が河道やダム貯水池に流出し、大きな社会的関心が寄せられた。

日高地方の斜面の崩壊要因については、昭和56年洪水時の日高沿岸部の表層崩壊について調査した遠藤ら²⁾の報告、日高山脈の地形要因、長期的な水文要因とダム堆砂の関連を整理した大山³⁾らの報告があるほか、沙流川の試験流域の表層崩壊地を過去1万年間に噴出したテフラを指標として整理した清水⁴⁾の報告がある。

しかしながら、本報告の事例は沙流川流域全般にわたり短時間に崩壊地が拡大し、山間部の基盤岩地質の斜面崩壊が大規模に起きたもので、これまでに解析されてきたものとはやや様相が異なると考えられる。今回、リモセン画像で判読された結果に基づき、崩壊地の関連要因を検討した結果を報告する。

2. 2003年8月洪水の概要

2003年8月7日～12日までの総降雨量を北海道開発局およびアメダス観測所毎に集計し、図-1に雨量観測所毎に濃淡の円でプロットした。100mm以上の強い雨域は概ね南西から北東方向に帯状に連なっており、とりわけ日高沿岸域から内陸側に300mm以上を示す濃い灰色部分が局所的に集中した事が分かる。この豪雨により、一級河川沙流川水系の平取基準点(1,253km²)において観測された48時間流域平均降雨量は306.2mm(速報値)を記録し、これは、1962年に観測開始以来、既往最大であった。二風谷ダム(A=1,215km²)ではピーク流入量約6,400m³/s(ピーク比流量5.26m³/s/km²)を記録し、貯水池内には5万m³に及ぶ流木が堆積した。

図-2は本ケースにおける降雨データを元に、八田ら⁵⁾が作成した等雨量線図を、額平川・厚別川の2流域上に

2003年8月出水の総雨量分布

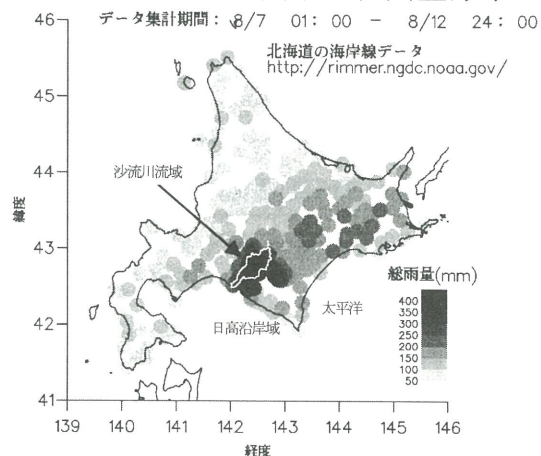


図-1 台風10号による全道降雨状況
(国土交通省、アメダスの降雨データ使用)

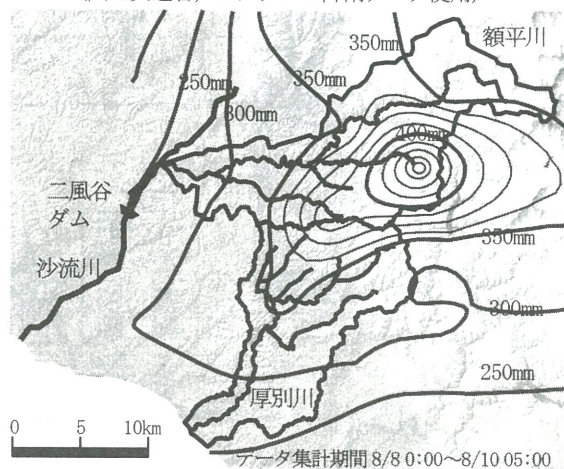


図-2 台風10号による額平川・厚別川周辺の等雨量線図(八田ら⁵⁾を改変)

重ね合わせたものである。両流域とも概ね300mm以上、場所によっては400mmを超える総降雨量をもたらされていたことが分かる。

3. 崩壊地の量的変遷

額平川流域の崩壊地の実態については、既往調査⁶⁾に

において1955年、1978年、1993年の3世代の崩壊地面積の読み取りが行われている。筆者らはこれらに加え、1998-1999年の林野庁の航空写真、2001-2002年の人工衛星画像（IKONOS）および2003年8月出水直後に撮影した航空垂直写真の額平川流域の崩壊地読み取りを行った。計6世代の額平川流域の崩壊地面積の変遷を図-3に示す。これによれば、直近年の崩壊地面積の傾向や、2002年に大きな出水が無かったことから見て、本イベントによって急激に崩壊地が拡大（前年比約3.6倍）した、と考えるのが妥当と言える。なお2003年8月出水後の額平川の崩壊地の分布と本イベントによる等雨量線図を図-4に示す。

4. 崩壊地発生の要因分析

崩壊地の発生要因として、地質、植生、地形、降雨の4つが考えられる。ここではまず、額平川の崩壊地と隣接する厚別川の崩壊地の量的な比較を行い、さらに各要因と崩壊地の関係について整理してみた。

4. 1. 額平川流域の崩壊地の読み取り

崩壊地の読み取りは航空写真を実体視しながら図化機上で崩壊地を取り込み、さらにGIS上に入力し、崩壊地を多角形（ポリゴン）データとして整理したほか、写真判読時に、崩壊地の深さを「浅い」「深い」の2種類と土砂流出に直接的に関わると考えられる「河道まで到達」「河道から独立」に区分した。ここで、「河道まで到達」「河道から独立」とはそれぞれ崩壊土砂が谷筋ま

で到達して下流まで流出している可能性がある崩壊地と山腹に発生した崩壊で谷筋まで土砂が到達しておらず、河川への土砂流出には影響が少ないと思われる崩壊地として区分・集計し、表-1に示した。なお、「浅い」「深い」の区分は斜面の状態を目視で確認したもので、別途崩壊土量の推定に用いる予定である。

表-1によれば、下流への土砂・流木流出に大きく関わると考えられる河道まで到達した新規・拡大崩壊地は、箇所数にして1,104箇所（26.5%）、崩壊地面積にして1,589km²（31.4%）となった。また、洪水後に読み取られた崩壊地箇所数の85%、崩壊地面積の84%（=1,589km²/1,881km²）が新規、もしくは既往の崩壊地が拡大したものであった。

次に、額平川流域の南側に隣接する厚別川の崩壊地面積（北海道開発局）を比較し、表-2に示す。これによれば、額平川の崩壊地面積率は厚別川の約1.7倍

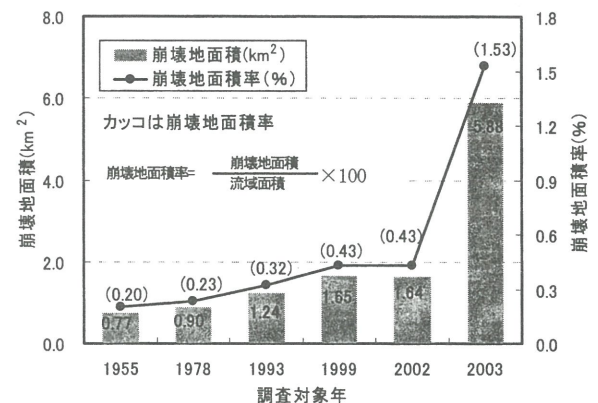


図-3 額平川流域の崩壊地面積の変遷

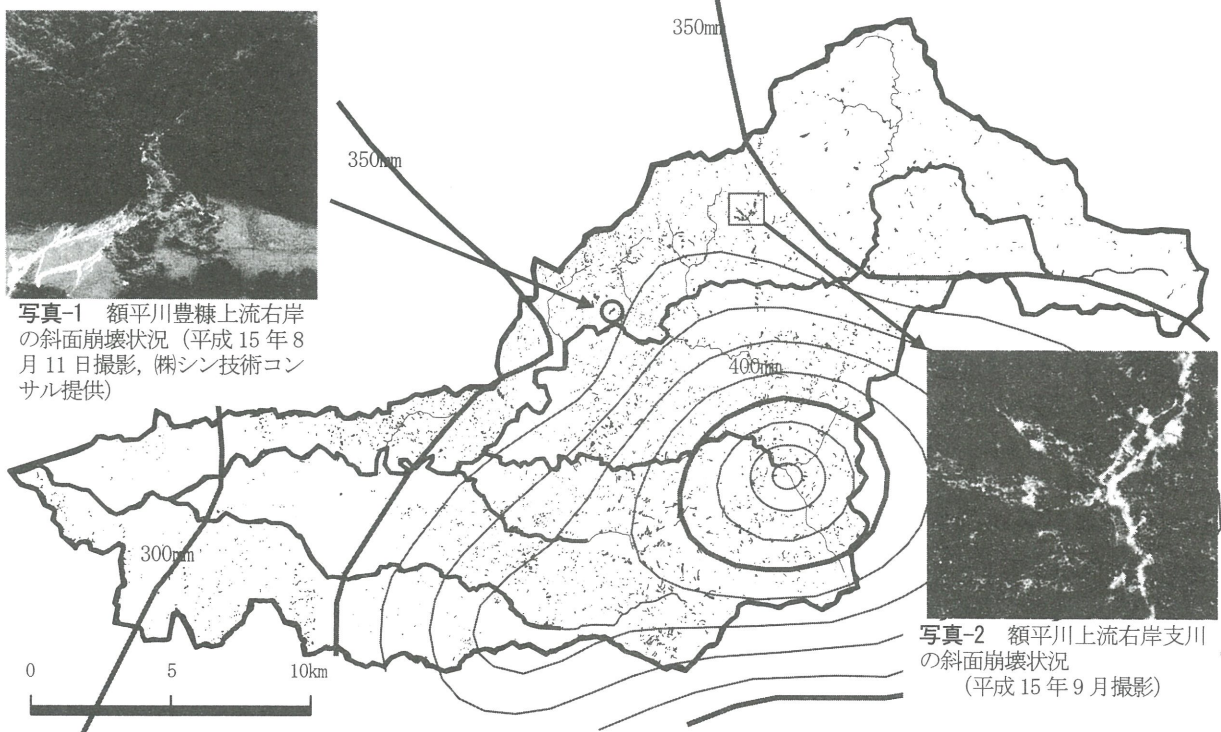


図-4 台風10号直後の額平川流域の崩壊地分布及び等雨量線図⁵⁾

(=1.53%/0.89%)であることが分かる。

厚別川の崩壊地面積率の経年的な変遷を見るため、厚別川流域に一部接する賀張山地域における崩壊地を平成10年と本イベント後の状況で比較した結果を表-3に示す。これによれば、崩壊地面積率は1998年(平成10年)との比較で3倍になっている。厚別川流域でも本イベントによる影響で崩壊地が急増した可能性は高く、また、崩壊地面積率の3倍(=2.42%/0.81%)の増加は、図-3に示した額平川流域の約3.6倍と同様の傾向といえる。

4. 2. 崩壊地と地質の関係

額平川流域の地質割合と地質区分毎の崩壊地の割合を地質図幅⁷⁾を用いて分類し、図-5に示す。これによれば、額平川流域の地質は中生代-古第三紀堆積岩類が約47%を占め、蝦夷層群、新第三紀堆積岩類が約31%を占める。一方、崩壊地を地質別に整理すると、中生代-古第三紀堆積岩類が約59%、蝦夷層群、新第三紀堆積岩類が約27%を占める。

図-6上段に地質別の崩壊地発生状況を示した。これによれば、中生代-古第三紀堆積岩類、蝦夷層群において崩壊地の分布が多い傾向を示している。また、図-6下段に地質面積あたりの崩壊地面積・箇所数を示した。これからも中生代-古第三紀堆積岩類、蝦夷層群の崩壊地が多い傾向がわかる。

4. 3. 崩壊地と植生の関係

額平川、厚別川の植生分布を現存植生図⁸⁾を用いて分類し、図-7に示す。これによれば、額平川流域の主な植生は針広混交林が約32%、広葉樹林が約25%、植林地(針葉樹)が約19%、針葉樹林が約6%を占める。ま

た、植生分類別に崩壊地を整理すると、額平川流域では針広混交林が約35%、広葉樹林が約35%、植林地が約14%を占めることが把握された。林業分野では針広混交林、広葉樹林、針葉樹林を併せて天然林と称しており、これを基準に額平川と厚別川の崩壊地を分類した結果を図-8上段に示す。これによれば、額平川流域での崩壊地発生は天然林で約75%を占めており、人工林で特に多い傾向

表-1 額平川流域崩壊地の河道到達、独立別の内訳と新規もしくは拡大した崩壊地の集計(H15.9)

崩壊地状況	河道まで到達	河道から独立	合計
全体箇所数	1,293箇所 (27.1%)	3,483箇所 (72.9%)	4,776
全体崩壊面積(km ²)	1.881 (32.0%)	4.003 (68.0%)	5.884
1箇所あたりの平均崩壊面積(m ²)	1,455	1,149	—
新規・拡大崩壊地箇所数	1,104箇所 (26.5%)	3,069箇所 (73.5%)	4,173
新規・拡大崩壊地面積(km ²)	1.589 (31.4%)	3.475 (68.6%)	5.064

※新規・拡大崩壊地は1998-1999年写真からの差分で求めた

表-2 額平川・厚別川流域の崩壊地面積比較

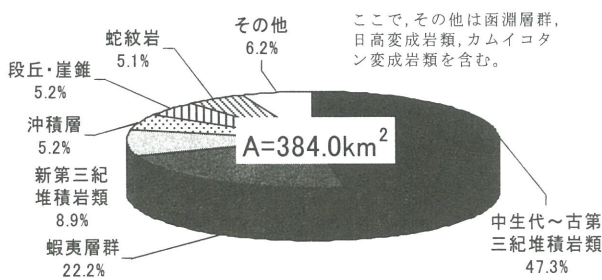
	流域面積(km ²)	崩壊地面積(km ²)	崩壊地箇所数	崩壊地面積率(%)
額平川	384.3	5.88	4,776	1.53
厚別川	264.9 ^{**}	2.37	3,498	0.89

※ここで、厚別川の流域面積は崩壊地読み取り範囲の面積

表-3 賀張山の崩壊地面積の変遷

崩壊地面積(km ²)及び百分率	H10(1998)	H15.9(2003.9)
厚別川(賀張山) (A=43.32km ²)	0.35 (0.81%)	1.05 (2.42%)

額平川流域地質分布



額平川流域地質別崩壊地分布

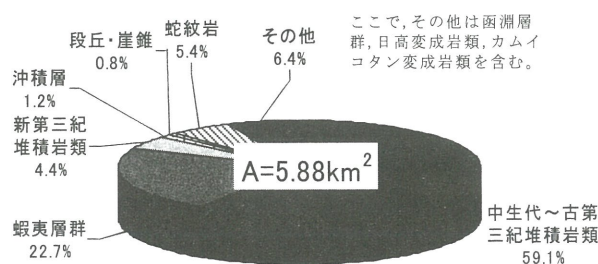


図-5 額平川地質分布割合と地質別崩壊地割合

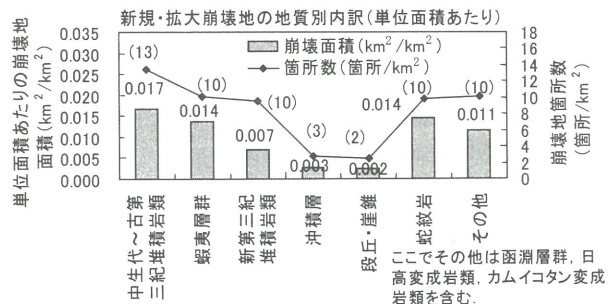
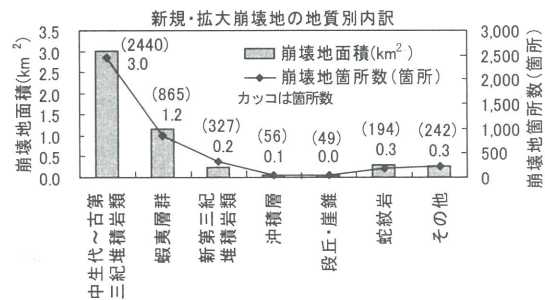


図-6 額平川流域の地質別崩壊地特性

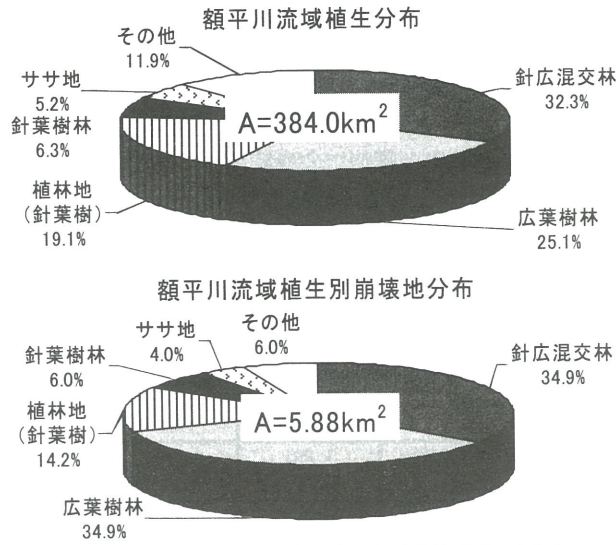


図-7 額平川植生分布割合と植生別崩壊地割合

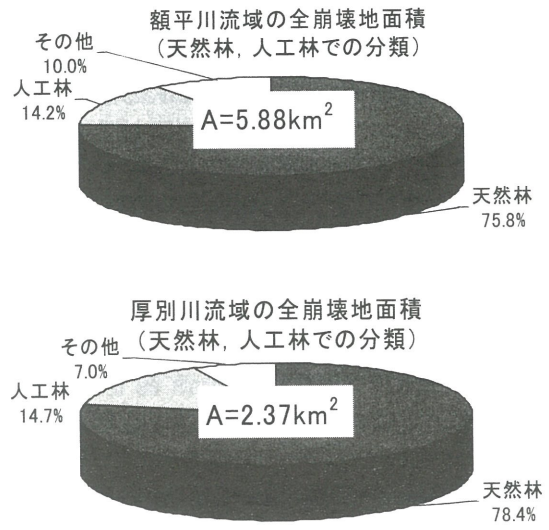
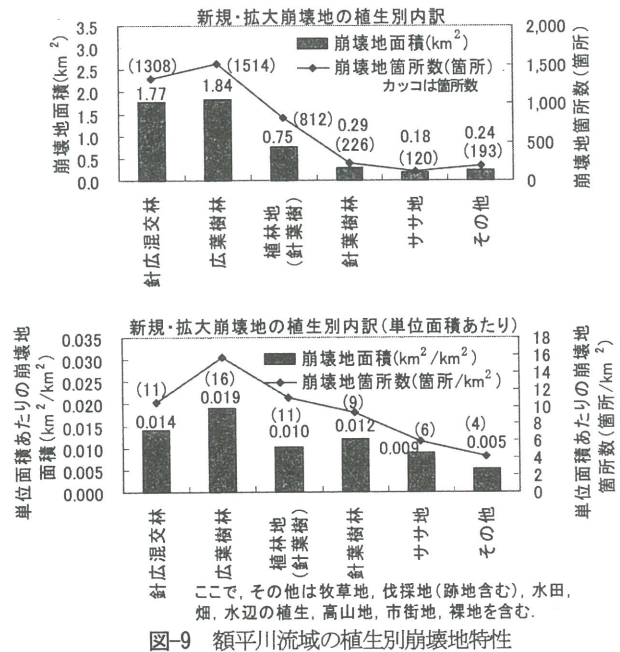


図-8 天然林・人工林別崩壊地発生状況



ここで、その他は牧草地、伐採地(跡地含む)、水田、畑、水辺の植生、高山地、市街地、裸地を含む。

図-9 額平川流域の植生別崩壊地特性

は見られないことが分かる。なお、比較のため隣接する厚別川流域の結果(図-8下段)を見ると、両流域とも天然林と人工林の崩壊地構成は同様であることがわかる。図-9上段に額平川流域の植生別の崩壊地面積・箇所数(総数)を示す。これによれば、針広混交林、広葉樹林での崩壊地の分布が多い傾向を示している。図-9下段に植生面積あたりの崩壊地面積・箇所数を示す。これによれば、単位面積あたりでも針広混交林、広葉樹の崩壊地発生面積・箇所数が多い傾向が見られた。

4. 4. 崩壊地と斜面勾配の関係

本イベント直後の平成15年9月に撮影された額平川流域の航空写真を用い、オルソフォトを作成する過程でDSM(Digital Surface Model)と呼ばれる20mメッシュの

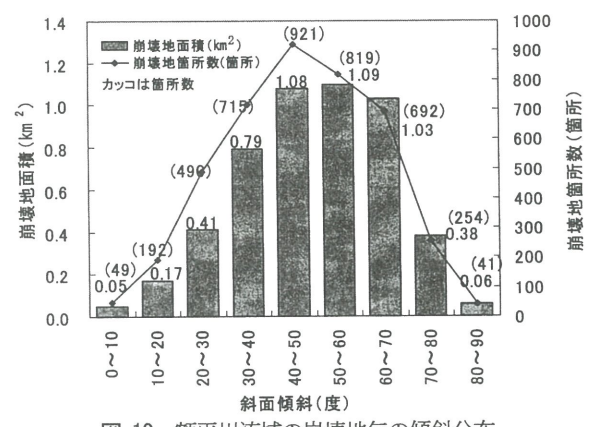


図-10 額平川流域の崩壊地毎の傾斜分布

擬似地表面3次元データが得られている。崩壊地のポリゴン(多角形)重心を求め、近接する4点のDSMメッシュ標高と関連付け、斜面の傾斜度、斜面方向、標高などの地形特性値を求めた。崩壊地面積、崩壊地箇所数と斜面傾斜(度)を整理した結果を図-10に示す。これによれば、崩壊地面積は斜面の傾斜が30度~70度までが多く、50度~60度付近にピークがある。また、斜面傾斜が70度を超えると崩壊地が減少しているが、これは傾斜の急な箇所では逆に崩壊に結びつく不安定土砂が少ない事を示唆しているものと考えられる。崩壊地箇所数について見ると、斜面傾斜が40~50度でピークを迎え、それ以降は崩壊地面積に比べ箇所数が減っている。このことは、斜面傾斜が50度から70度までは、急傾斜になるほど一箇所当たりの崩壊地面積が増える傾向を示すものと考えられる。

4. 5. 崩壊地と総雨量の関係

ここでは、総雨量の崩壊地へのインパクトを捉える為、図-4に示した総降雨量の等雨量線図を30mm毎にランク分けし、ランク毎の崩壊地面積・箇所数を集計したもの

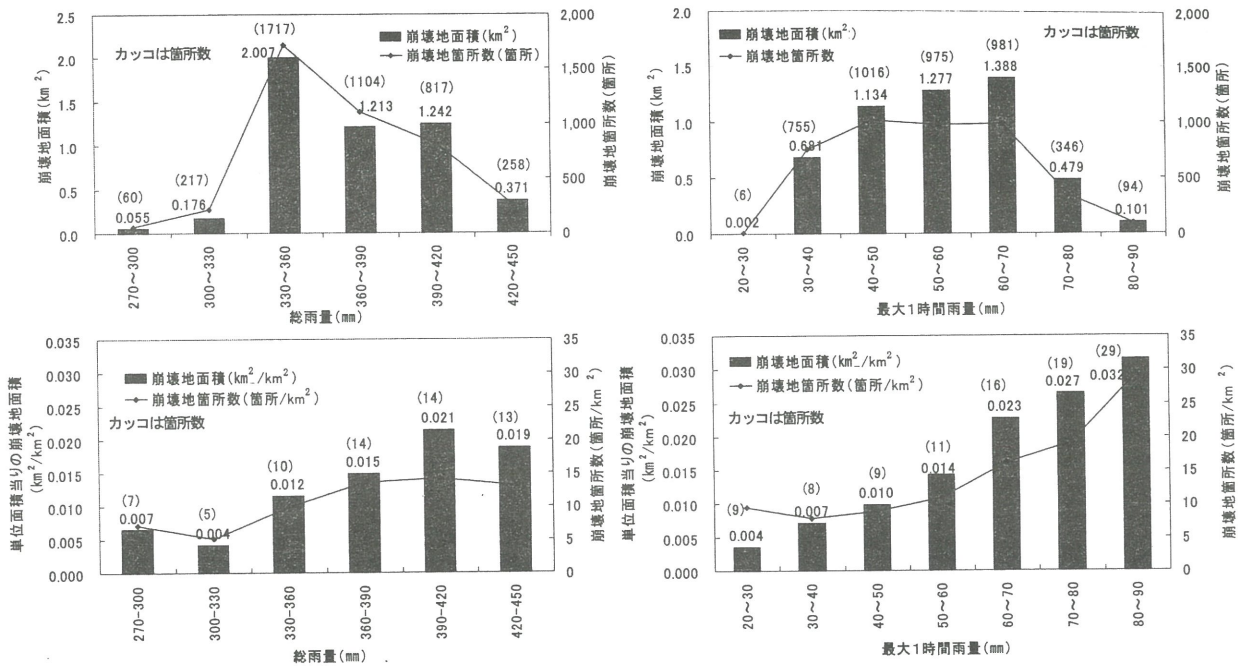


図-13 最大1時間雨量と崩壊地の関係

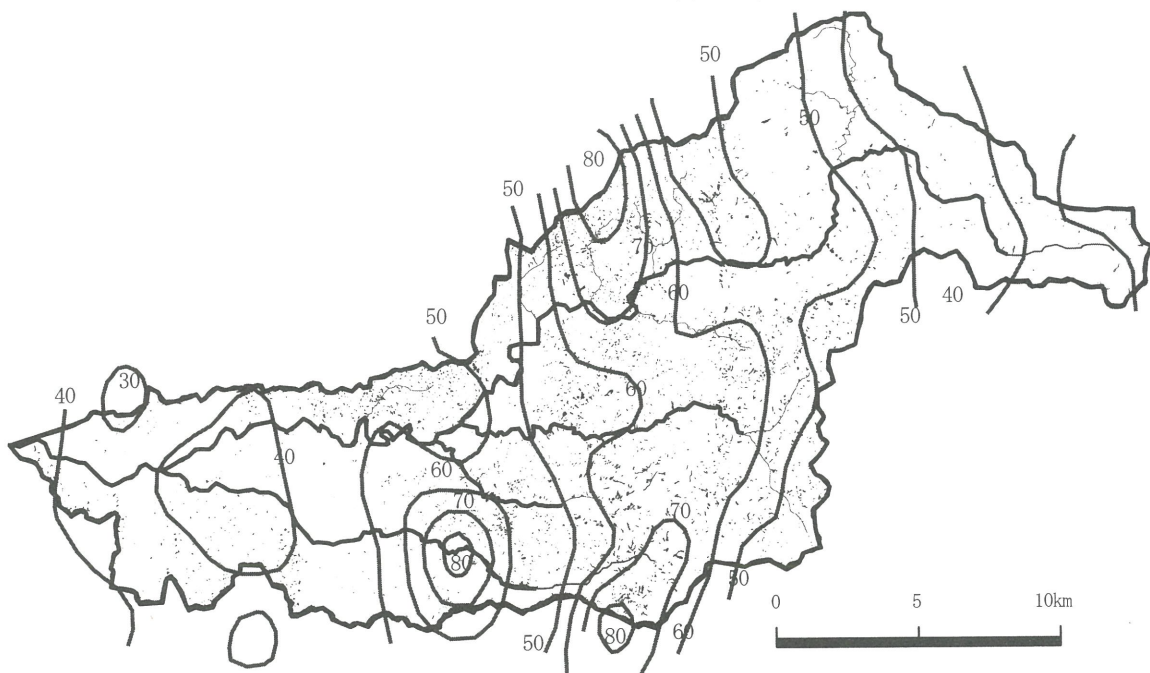


図-12 額平川流域崩壊地分布及び最大1時間雨量線図 (単位: mm/h)

を図-11上段に、さらにランク毎の面積で除し、単位面積当たりで整理した結果を図-11下段に示す。図-11下段によれば、総雨量が330mmを超えると単位面積当たりの崩壊地面積が増加し、かつ雨量が増えるほど崩壊地箇所数も増加する傾向がみられる。

4. 6. 崩壊地と1時間降雨強度の関係

8月8日～8月10日までのレーダー・アメダス解析雨量データ (2.5kmメッシュ, (財) 気象協会北海道支社提供) を用い、短時間降雨量と崩壊地の関係について整理

した。ここではメッシュ毎の1時間最大雨量を抽出し、それに基づいて作成した等雨量線図と崩壊地を図-12に示す。さらに、10mm毎にランク分けされた等雨量線範囲に存在する崩壊地の面積と箇所数を集計し、図-13上段に示した。さらに、ランク毎の面積で除し、単位面積あたりで整理した結果を図-13下段に示す。これによれば、1時間最大雨量 (降雨強度) が增大するにつれ、単位面積あたりの崩壊地面積、崩壊地箇所数が増加する傾向が明瞭に認められた。これは1時間降雨といった短時間の降雨が崩壊地の発生に強く関与することを示すものと

表-4 数量化理論Ⅱ類のカテゴリー

分類	崩壊地	地質	傾斜(度)	斜面向き	雨量(mm)	最大1時間降雨(mm)
1	崩壊	沖積層	0~10	東	270-300	20-30
2	非崩壊	段丘	10~20	西	300-330	30-40
3		新第三紀の堆積岩類	20~30	南	330-360	40-50
4		函淵層群	30~40	北	360-390	50-60
5		蝦夷層群	40~50	北東	390-420	60-70
6		中生代~古第三紀の堆積岩類	50~60	北西		70-80
7		日高変成岩類、深成岩類	60~70	南東		80-90
8		カムイコタン変成岩	70~80	南西		
9		蛇紋岩				

して注目される。

5. 崩壊地とその発生要因

最後に崩壊地の発生がどういった要因に強く関連しているのかを総合的に評価するために多変量解析を行ってみた。ここで、目的変数や説明変数が数値ではなく項目分類的なデータである場合の解析として数量化理論Ⅱ類⁹⁾を用いる。この分析の目的は、目的変数である「崩壊地の発生の有無」と、説明変数である「気象」、「地質」、「地形」、「植生」の各要因との関係を求めることにより、崩壊地の発生に関与する因子と寄与率を把握することにある。

このためには各項目を数量化する必要がある。まず、気象要因としては総雨量と最大1時間降雨強度があるが、図-4と図-12に示されるように、総雨量の分布に比べ、最大1時間雨量は局地性が見られる点で様相が異なっているといえる。したがって、両者をほぼ独立な要素と扱えると考えた。また、地質要因、地形要因(斜面勾配、斜面方向)も互いに独立と考えられる。ただし、植生要因は、高山帯、天然林(針葉樹、針広混交林)、植林地、市街地・田畑という順で斜面勾配が緩くなり、地形への依存関係が認められる。従って、植生要因は地形要因で代表されるものとして解析からは省き、最終的に表-4のカテゴリーに分類した。解析にあたっては、目的変数を崩壊地・非崩壊地とし、新規または拡大した崩壊地の全データと、崩壊地と同数程度ランダムに抽出した非崩壊地のデータを入力値とした。

解析の結果を表-5に示す。これによれば、レンジの順位から1時間最大雨量、地質、斜面角度、斜面方向、総雨量の順番に崩壊地の分布が規定されていると考えられる。判別度(全てのカテゴリーから崩壊地と非崩壊地を判別する確率)は63.8%であり、必ずしも精度が高いとはいえないが、定性的な傾向は概ね把握できたと考える。今回の解析対象範囲は全般的に崩壊地が多い額平川流域のみであったのでやや解析精度が悪かったが、今後、近隣にあって崩壊地が少なかった流域を対照地として解析に組み入れる事が必要であると考えられる。

表-5 解析結果

アイテム	レンジ	順位
1時間最大雨量	1.833	第1位
地質	1.803	第2位
斜面角度	1.486	第3位
斜面方向	1.314	第4位
総雨量	1.092	第5位

6. おわりに

額平川流域では本イベントにより、前年比3.6倍の崩壊地が発生した。崩壊地発生の要因として、地質、植生、降雨、地形と個別に分析した結果を次のようにまとめた。①地質：中生代-古第三紀堆積岩類、蝦夷層群で崩壊地が多い傾向を示した。②植生：崩壊地全体の3/4を天然林、1/4を人工林その他が占めた。しかしながら、植生分布は地形条件との関連が大きいと考えられるため、崩壊地発生に植生が寄与した程度は現段階では未評価。③地形：斜面傾斜が40-60度で崩壊地面積・箇所数がピークを示す。④降雨：総雨量では330mmを超えると単位面積当りの崩壊地面積・箇所数が増加傾向を示し、最大1時間雨量では雨量強度の増加とともに単位面積あたりの崩壊地面積・箇所数が増加傾向を示す。

また、数量化理論Ⅱ類による分析でも1時間雨量が崩壊地発生に最も大きく関与するといった結果を得た。

なお、本報告は国土交通省北海道開発局の受託業務による補助を受けて行った。また、北海道開発局、室蘭開発建設部、(財)気象協会北海道支社より貴重なデータの提供を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 平成15年8月台風10号関連情報、北海道開発局室蘭開発建設部、<http://www.mr.hkd.mlit.go.jp/>
- 遠藤祐二、山岸宏光、岡村俊邦：1981年豪雨による日高地方の斜面崩壊、地下資源調査報告書第55号短報、pp69-81、1984
- 大山隆弘、井上大栄、千木良雅弘：北海道日高地方の崩壊地特性と貯水池堆砂の検討、電力中央研究所報告、U90036、1990.6
- 清水収、土砂収支解析による流域土砂輸送の時空間特性に関する研究、北海道大学農学部演習林研究報告第55巻第1号、pp123-215、1998
- 土木学会2003年8月台風10号豪雨災害北海道胆振・日高地方災害調査団最終報告、1.降雨特性、八田茂実、2004.3
- 室蘭開発建設部、平成14年度沙流川総合開発事業の内沙流川土砂生産調査検討業務、4、2003.3
- 経済産業省産業技術総合研究所地質調査所地質図幅(浦河1996年、夕張2000年)
- 現存植生図(幌尻1981年、イドンナップ1981年、岩知志1984年、親和1984年)、環境省
- 小谷野亘、数学が苦手な人の為の多変量解析ガイド、川島書店、pp114、1988

(2004.6.18受付)