

# 始良カルデラ西壁の海岸域斜面における森林の発達が表層崩壊防止に及ぼす影響

寺本行芳<sup>1\*</sup>・岡 勝<sup>1</sup>・下川悦郎<sup>2</sup>・江崎次夫<sup>3</sup>

## Effect of temporal forest development on shallow landslide prevention in coastal-area slopes of the Aira Caldera western wall

Yukiyoshi Teramoto<sup>1\*</sup>, Masaru Oka<sup>1</sup>, Etsuro Shimokawa<sup>2</sup> and Tsugio Ezaki<sup>3</sup>

**Abstract:** In order to clarify the effect of temporal forest development on shallow landslide prevention, we examine the recurrence of shallow landslides and recovery of shallow landslide prevention owing to temporal forest development. The study is for slopes in coastal areas of the Aira Caldera western wall in Kagoshima Prefecture, Japan. Aerial photographs taken in 1947, 1962, 1965, 1966, 1967, 1969, 1974, 1981, 1989, 1992, 1993, 2000, 2001, 2004 and 2005 were interpreted. A total of 110 shallow landslides were detected in the study area. These landslides were found to have occurred not only on previously unaffected slopes, but also on slopes subjected to prior shallow landslides. Many of these landslides had areas no more than 400 m<sup>2</sup>, and were on slopes with inclinations in excess of 30 degrees. Moreover, the greatest number of shallow landslides occurred at altitudes between 100 m and 200 m. The number and area of these landslides for 20 years of tree age or less were between 1.5 and 76 times greater than for 20 years of tree age or more. The increase in landslide prevention attributed to temporal forest development on coastal-area slopes of the Aira Caldera western wall reduces the frequency of shallow landslides and their resultant debris flows, protecting coastal forest and coastal ecosystems.

### 1 はじめに

鹿児島湾北部に位置する世界最大の始良カルデラの西壁には、比高200m以上の急崖が鹿児島湾に面して広く分布する。この急崖では、豪雨時には表層崩壊やそれに起因した土石流による土砂災害が頻繁に発生している(春山・下川, 1978; 下川ら, 1994; 横田・岩松, 1998など)。表層崩壊やそれに起因した土石流は、急崖脚部に位置する人家を襲い多数の犠牲者を出すと同時に、海岸林およびその生育基盤に壊滅的な被害を与えてきた(春山・下川, 1978; 下川ら, 1994; 横田・岩松, 1998など)。

始良カルデラ西壁のように、急崖が海岸に面し、急崖から頻繁に表層崩壊やそれに起因した土石流の被害を受ける海岸域の保全を考える際には、まず第一に海岸林およびその生育基盤が流域の末端部に位置することを認識することが重要である(中島, 2001; 江崎, 2009)。その上で、海岸域斜面における表層崩壊の履歴と、同斜面における森林の発達の関係を明らかにし、森林の表層崩壊防止機能を評価

するとともに、この機能を最大限に生かした計画の策定が必要である。

本論では、始良カルデラ西壁の海岸域斜面における表層崩壊の履歴と、同斜面における森林の発達が表層崩壊の発生に及ぼす影響について明らかにするとともに、森林の発達が海岸の保全に及ぼす影響について検討する。本研究は、始良カルデラ西壁の海岸域斜面脚部に位置する海岸林およびその生育基盤保全のために重要であるだけでなく、始良カルデラ西壁の海岸域斜面および流域における防災計画を効果的に進めるための重要な基礎データとなり得る。

### 2 調査地と方法

#### 2.1 調査地の概要

調査地は、鹿児島県桜島の北西側に位置する、鹿児島市吉野町竜ヶ水から同町大崎までの始良カルデラ西壁における海岸域斜面である(図1)。調査地ではこれまで、表層崩壊やそれに起因した土石流による土砂災害が度々発生し多数の人命が失われるとともに、斜面脚部に位置する人家や海岸部は大きな被害を受けてきた(春山・下川, 1978; 下川ら, 1994など)。斜面の地質は、輝石安山岩が基盤岩となり、その上位の玄武岩類、シルト～凝灰質シルト岩、溶結凝灰岩、さらにそれを覆って流紋岩質軽石凝灰岩と軽石・火山灰の順で構成される(横田・岩松, 1998)。地形は標高300m付近にある遷急線を境にして、上部は緩傾斜面(10度未満)を、下部は急傾斜斜面(30～50度)を成している。

<sup>1</sup>鹿児島大学農学部, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24, Korimoto, Kagoshima 890-0065 JAPAN

<sup>2</sup>鹿児島大学, Kagoshima University, 1-21-24, Korimoto, Kagoshima 890-8580 JAPAN

<sup>3</sup>愛媛大学農学部, Faculty of Agriculture, Ehime University, 3-5-7 Tarumi, Matsuyama, 790-8566 JAPAN

\*Corresponding author: sabot@agri.kagoshima-u.ac.jp

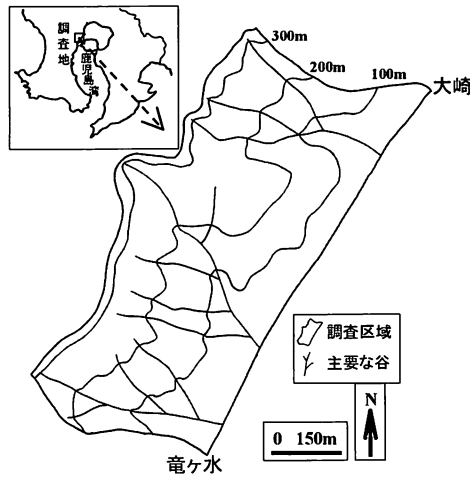


図1：調査地

調査地における急傾斜面の森林（図1の調査区域）は過去の同じ時期に皆伐された後に成立した二次林である（鹿児島土木事務所，1995）。急傾斜面における主要構成樹種はマテバシイ，タブノキなどの常緑広葉樹である。

調査地の気象条件は，鹿児島地方気象台の平年値（1981～2010年）によると年降水量は2,266mm，年平均気温は18.6度である（鹿児島地方気象台，1981～2010）。

## 2.2 方法

調査区域（図1）における表層崩壊の履歴を明らかにするために空中写真判読を行った。調査区域の面積は361,820m<sup>2</sup>である。判読作業に使用した写真は1947年3月2日，1962年9月19日，1965年11月15日，1966年9月29日，1967年10月8日，1969年5月8日，1974年5月3日，1981年12月24日，1989年10月22日，1992年10月6日，1993年8月11日，2000年11月18日，2001年6月3日，2004年1月8日および2005年3月9日に撮影された15組である。15組の空中写真を実体視して表層崩壊跡地を判読し，2.5万分の1縮尺の地形図に移写して，それらの分布図を作成した。空中写真で判読できる表層崩壊跡地は，常緑広葉樹林域においては写真の撮影年月日を基準にして約20年以内に限られる（下川ら，1989；Shimokawa and Jitousono, 1997など）。さらに，撮影年月日を基準にして約20年以内に発生した新旧の崩壊跡地のうち，斜面が裸地状態あるいは植生がほとんど侵入していない状態にある新しい表層崩壊跡地は，写真撮影年月日を基準にして数年以内に発生したものである（下川ら，1989；Shimokawa and Jitousono, 1997など）。判読対象としたのは，発生後数年以内の新しい崩壊跡地である。分布図から個々の表層崩壊の面積を計算するとともに，個々の表層崩壊の発生した傾斜と標高を調査した。崩壊の発生した傾斜は，崩壊跡地の上端から下

端までの水平距離と，地形図から読み取った崩壊跡地の上端と下端の標高から計算した。崩壊の発生した標高は，崩壊跡地上端の標高を地形図から読み取ることによって求めた。

また，表層崩壊は短時間雨量強度に大きく支配されて発生するため，雨量因子として最も頻繁に使われる最大時間雨量（小橋，1993など）について調査した。判読された崩壊全ての発生年月日については不明なため，写真撮影年月日を基準にして3年以内の最大時間雨量を用いた。使用した雨量データは，調査地に近い鹿児島地方気象台の観測記録である（鹿児島地方気象台，1944～2002）。

さらに，調査区域における森林の林齢について調査した。1994年の植生調査結果（鹿児島土木事務所，1995）によると，調査区域における主要構成樹種はマテバシイとタブノキであることが報告されている。2012年の調査区域における植生調査結果によると，1994年の調査結果（鹿児島土木事務所，1995）と同様にマテバシイとタブノキが主要構成樹種であり，これらの樹種が調査区域全体に分布していた。調査区域の最大樹齢について成長錐を用いて測定した。測定の際には，樹高および胸高直径が大きな樹種を複数本選んだ。その結果，2012年時点の最大樹齢はマテバシイとタブノキの69年であった。調査区域は二次林のため林齢にはある程度の幅がある。したがって，調査区域における最大樹齢を森林の林齢とすることは出来ないが，同じような樹高および胸高直径のマテバシイとタブノキが調査区域全体に分布していたことから，この最大樹齢が調査区域における森林の林齢を概ね表現していると考えた。本論では，この最大樹齢を2012年時点での調査区域における森林の林齢とした。最大樹齢に基づいて15組の空中写真撮影時における森林の林齢を推定した（表1）。

表1：空中写真撮影時期と森林の林齢

空中写真撮影年月日	林齢（年）
1947/03/02	4
1962/09/19	19
1965/11/15	22
1966/09/29	23
1967/10/08	24
1969/05/08	26
1974/05/03	31
1981/12/24	38
1989/10/22	46
1992/10/06	49
1993/08/11	50
2000/11/18	57
2001/06/03	58
2004/01/08	61
2005/03/09	62

以上得られた結果から、各空中写真撮影時における調査区域の森林の林齢と、表層崩壊面積、表層崩壊個数および表層崩壊の発生に寄与した雨量の関係について整理することで、調査区域急傾斜面における森林の発達が表層崩壊の発生に及ぼす影響について検討した。

### 3 結果と考察

#### 3.1 表層崩壊の履歴

図2は、各撮影年の空中写真で判読された調査区域における表層崩壊跡地の分布図である。また、図3、図4および図5は、各空中写真で確認された表層崩壊地を合わせた表層崩壊発生標高のヒストグラム、表層崩壊面積のヒストグラムおよび表層崩壊発生傾斜のヒストグラムである。図3、図4および図5の縦軸は、森林面積が各標高域で異なるため、各標高域の表層崩壊個数を各標高域の森林面積で除した値とし

て表わしている。なお、2000年11月18日と2001年6月3日撮影の空中写真では表層崩壊は発生していない。図2によると、1947年3月2日、1962年9月19日、1965年11月15日および1966年9月29日撮影の空中写真では多くの表層崩壊跡地がみられるが、1967年10月8日撮影の空中写真以降表層崩壊跡地は少なくなり、さらに2000年11月18日撮影の空中写真以降表層崩壊跡地はほとんどみられない。表層崩壊の発生標高を判読された全ての表層崩壊について整理すると、100~200mの階級値が最も多く(47.6%)、以下200~300mの階級値(33.1%)、0~100mの階級値(19.3%)の順になっている(図3)。表層崩壊の多くは面積が400m<sup>2</sup>未満の小規模なものであり(図4)、発生傾斜が30度以上である(図5)。塚本(1998)は、表層崩壊発生傾斜について調査し、大部分の表層崩壊は30~45度の急傾斜面で発生していることを報告している。本研究の結果は塚本(1998)の結果と符合する。



図2：調査区域における表層崩壊の履歴

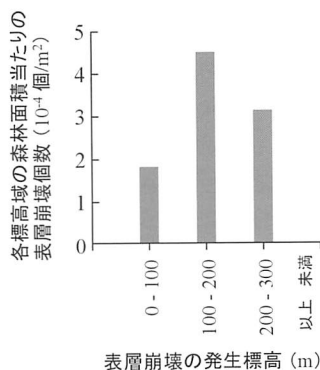


図3：表層崩壊発生標高のヒストグラム

図6は、図2で判読された表層崩壊跡地を全て図示したものである。調査区域には広範囲にわたって多数の表層崩壊跡地がみられる。空中写真判読を行なった1947~2005年の約60年の期間に110個の表層崩壊が発生している。表層崩壊には、①1つの斜面内で1回しか発生していないもの、②過去の崩壊跡地内で繰り返し発生しているもの、③同一斜面内で過去の崩壊跡地の上部斜面および横隣部斜面で発生しているものがある。表層崩壊の周期性については、しらす(入戸火砕流堆積物)急傾斜面および風化花崗岩急傾斜面においても報告されている(下川ら、1989;松本ら、1999など)。

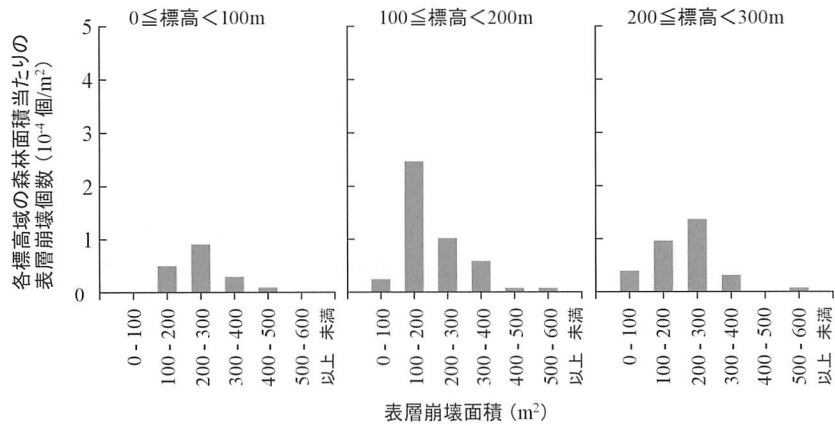


図4：表層崩壊面積のヒストグラム

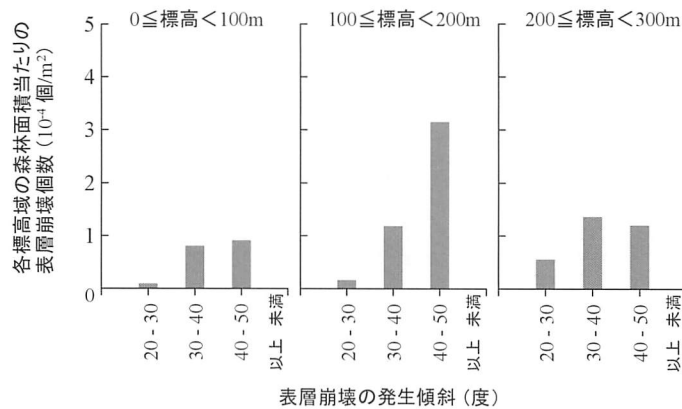


図5：表層崩壊発生傾斜のヒストグラム

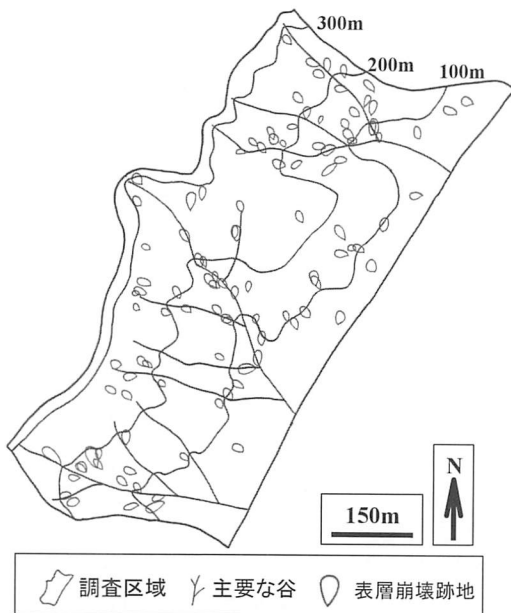


図6：調査区域で約60年間に発生した表層崩壊

### 3.2 森林の発達が表層崩壊の発生に及ぼす影響

図7は、各空中写真で判読された表層崩壊の個数および面積と森林の林齢の関係を示している。表層崩壊の発生に寄与した最大時間雨量の規模に分けて表したものである。なお、過去の崩壊跡地内で再び発生した崩壊跡地の林齢は、図7横軸の写真撮影時における林齢より小さくなるため、表層崩壊の個数および面積には含めていない。林齢20年未満における表層崩壊の個数および面積は、林齢20年以上におけるそれらに比べて最大時間雨量が相対的に小さいにも関わらず大きい。さらに、林齢20年以上における同程度の最大時間雨量に対する表層崩壊の個数および面積は、林齢の増加とともに減少傾向にある。これらの主な原因として、樹木の成長に伴う根系量の増加による表層崩壊防止機能の回復が挙げられる。調査区域の森林は二次林で林齢に幅があるため、個々の樹木の成長量にも違いがあることや、空中写真判読期間（1947年～2005年）における気象状況が同一でないと考えられることから、調査区域内でも斜面ごとに表層崩壊防止機能の回復程度も同様ではないと予想される。これを明らかにするためには更なるデータ

の収集と調査が必要である。今後の重要な課題としたい。森林の発達に伴う表層崩壊防止機能の経年変化についての既往研究成果(塚本, 1998)については, 森林伐採後7~10年経過した斜面で表層崩壊個数が最大になること, 林齢20年以下の広葉樹斜面で表層崩壊が発生しやすいこと, 再生林では伐採跡地が最も崩壊個数と崩壊面積は大きい森林の発達に伴い崩壊個数と崩壊面積は減少していくことなどの報告例がある。

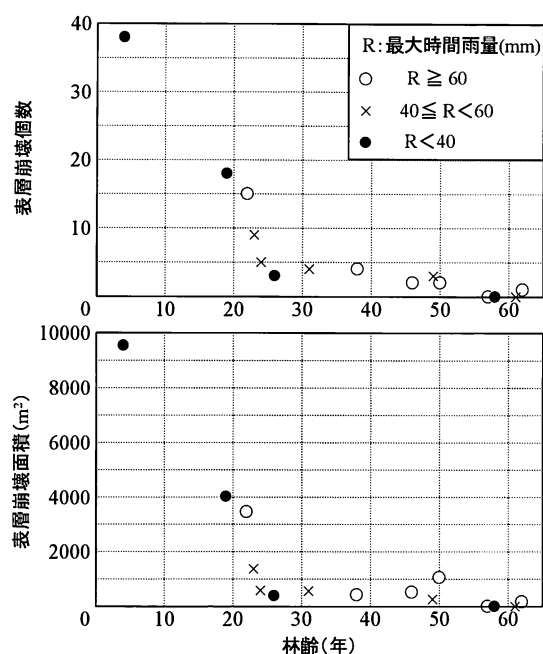


図7: 森林の発達に伴う表層崩壊個数と表層崩壊面積の経年変化

以上のように, 始良カルデラ西壁の海岸域斜面における森林の発達は, 森林の表層崩壊防止機能を回復させ, 表層崩壊やそれに起因した土石流の発生を抑制することで海岸林とその生育基盤の被害防止に大きく寄与している。今後, 海岸林とその生育基盤を含めた海岸域の保全を検討する上では, 海岸域斜面における表層崩壊の履歴と森林の発達に伴う表層崩壊防止機能の経年変化を関連付けて評価することは非常に重要であろう。

#### 4 まとめ

本論では, 1947~2005年の期間に撮影された15組の空中写真判読結果に基づいて, 始良カルデラ西壁の海岸域斜面における表層崩壊の履歴と, 同斜面における森林の発達に伴う表層崩壊防止機能の経年変化について明らかにするとともに, 森林の発達が海岸の保全に及ぼす影響について検討した。本研究で得られた主な結果は以下の通りである。

(1) 1947年3月2日, 1962年9月19日, 1965年11月15日および1966年9月29日撮影の空中写真では多くの表層崩壊が発生しているが, これ以降の空中写真では

表層崩壊の発生は少なくなり, 2000年11月18日撮影の空中写真以降は表層崩壊の発生はほとんどみられなかった。

(2) 表層崩壊の多くは, 面積が400m<sup>2</sup>未満で発生傾斜が30度以上であった。また, 表層崩壊の発生標高は100~200mの階級値が最も多く, 以下, 200~300mの階級値, 0~100mの階級値の順であった。

(3) 1947~2005年の期間に110個の表層崩壊が発生していた。表層崩壊は新規の急傾斜面, 過去の表層崩壊跡地および過去の表層崩壊跡地の上部斜面および横隣部斜面で発生していた。

(4) 林齢20年未満における表層崩壊の個数および面積は, 林齢20年以上におけるそれらに比べて表層崩壊の発生をもたらした雨量強度が相対的に小さいにも関わらず大きかった。これには, 森林の発達に伴う表層崩壊防止機能の回復が関係している。森林の経年的な発達は表層崩壊やそれに起因した土石流の発生を抑制し, 海岸林とその生育基盤の保全に大きく寄与している。

#### 引用文献

- [1] 江崎次夫 (2009): 会長就任にあたって. 海岸林学会誌, 8(2), 巻頭.
- [2] 春山元寿・下川悦郎 (1978): 鹿児島市吉野町竜ヶ水地区の山地崩壊・土石流について. 新砂防, 30(4), pp.33-38.
- [3] 鹿児島土木事務所 (1995): 竜ヶ水地区一帯防災に関する基礎調査及び施設計画報告書. 170pp.
- [4] 鹿児島地方気象台 (1944~2002): 気象データ.
- [5] 鹿児島地方気象台 (1981~2010): 気象データ.
- [6] 小橋澄治 (1993): 山地保全学 文永堂出版, 280pp.
- [7] 松本舞恵・下川悦郎・地頭菌隆 (1999): 表層崩壊跡地における植生の自然的回復過程. 日本林学会誌, 81(1), pp.65-73.
- [8] 中島勇喜 (2001): 会長就任にあたって. 海岸林学会誌, 1(1), 巻頭.
- [9] 下川悦郎・地頭菌隆・高野茂 (1989): しらす台地周辺斜面における崩壊の周期性と発生場の予測. 地形, 10(4), pp.267-284.
- [10] 下川悦郎・地頭菌隆・松本舞恵・三浦郁人・加藤昭一 (1994): 1993年豪雨による鹿児島県下の土砂災害. 「1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究」報告書, 1993年豪雨災害鹿児島大学調査研究会, pp.47-59.
- [11] Shimokawa, E. and Jitousono, T. (1997): Recurrence interval of shallow landslide on forested steep slope in Yakushima island, Journal of the Japan Society of Tropical Ecology, Vol.6, Special Issue, pp.435-440.
- [12] 塚本良則 (1998): 森林・水・土の保全—湿润変動帯の水文地形学—. 朝倉書店, 138pp.
- [13] 横田修一郎・岩松暉 (1998): ボーリング調査に基づく鹿児島湾竜ヶ水急崖の地質構造. 応用地質, 39(2), pp.193-201.

[受付 平成24年8月30日, 受理 平成24年11月30日]