

論文 (Original article)

伊豆大島 2013 年 10 月 16 日斜面崩壊発生地点周辺の樹木の現存量

伊東 宏樹^{1)*}、松井 哲哉²⁾、飛田 博順²⁾、五十嵐 哲也¹⁾、小川 明穂³⁾、松浦 陽次郎⁴⁾

要旨

伊豆大島の斜面崩壊現場において、崩壊以前の森林が崩壊にどのような影響を及ぼしたのか評価することを可能にするため、植生タイプごとに単位面積あたりの木本植物の地上部および地下部現存量を推定することを主な目的とした。GIS 上で被災地周辺の航空写真と現存植生図を重ねあわせ、崩壊前の現存植生タイプを推定した。被害発生地周辺の 7 箇所の調査地点に方形区を設置して胸高周囲長 10cm 以上の幹について毎木調査をおこない、林分構造を明らかにした。周辺の倒木を採取し、各林分の現存量を推定した。斜面崩壊前の植生の多くはオオシマザクラなどが優占する森林であり、隣接して、ヒサカキ-ハチジョウイヌツゲ林やスダジイ林などが認められた。推定された地上部現存量は、スダジイ林で最も大きく、次いでオオシマザクラ優占林、ヒサカキ-ハチジョウイヌツゲ林の順であった。地上部/地下部の重量比 (TR 比) はオオシマザクラ優占林で 2.9 ~ 3.8、ヒサカキ-ハチジョウイヌツゲ林で 2.7 ~ 2.8 であった。調査地点における森林の地上部現存量には、オオシマザクラ優占林とヒサカキ-ハチジョウイヌツゲ林との間に顕著な差は見られなかったが、TR 比は前者で大きい傾向があった。斜面崩壊発生時点での現存量 (生重量) を推定できた。この結果は、地表面に与えていた負荷の評価等に利用可能である。

キーワード：乾重量、生重量、根系、バイオマス配分、ベイズ推定

1. はじめに

森林には、根系による土壌の緊縛力などを通して、土壌の崩壊を防止する機能がある (阿部 2006, 今井 2008)。また樹冠や下層植生、地上部の落葉は、地表へ到達する雨滴の衝撃を弱めることによる表土の流出を抑える働きがある (平岡ら 2010)。しかし、土壌の保水力には限界があり、短時間に大量の降水があった場合には、斜面崩壊が起きる。樹木の地上部重量と根系の支持力の間には正の相関があるが、樹木が成長するに伴い地上部重量に対して根系の支持力が減少し、倒伏しやすくなる (苅住 1979)。山地の森林が発達している斜面において短時間のうちに大量の降水が起きた場合、地表を覆っている樹木それ自体の重量が斜面崩壊を誘発したり、また落下した場合の衝撃力を増大させたりする可能性も考えられる。このような場合、樹木が地表面へどれほどの荷重をかけていたかを検討する必要がある。

一般に樹木の生物量の推定は炭素蓄積量の把握を目的とすることが多く、通常は乾重量しか報告されない。しかし、樹木が地表面にかける荷重を推定する場合には、乾重量ではなく生重量の把握が必要である。

東京都伊豆大島では 2013 年 10 月 16 日の台風 26 号がもたらした集中豪雨によって、伊豆大島三原山の外輪山斜面で大規模な斜面崩壊およびそれによる土石流が発生

した。この斜面崩壊が発生したメカニズムを探るためには、その上に成立していた森林の樹木がどれだけの荷重を斜面に掛けていたのかを知ることが必要であると考えられる。さらに、根系による土壌支持力も推定する必要があると考えられるが、そのためには根系への現存量配分も重要である。

したがって本研究では、斜面崩壊に森林がどのような影響を及ぼしたのかを評価することを可能とするため、伊豆大島の斜面崩壊現場における植生タイプを把握し、その植生タイプごとに、現地で採集したサンプルを使用して、生重量としての現存量を地上部および地下部に分けて推定することを主な目的とした。

2. 調査地および調査方法

2.1 伊豆大島の概要

伊豆大島は伊豆諸島最北で最大の火山島であり、1981 年 ~ 2010 年の年平均気温の平年値は 16.1°C、年降水量の平年値は約 2,827.1mm である (気象庁 2016)。島内の最高地点は三原山山頂で 758m である。三原山は過去 1500 年間に 13 回噴火しており、最近では 1777 年、1876 年、1912 年、1950 年、1986 年に噴火した。外輪山の外側には常緑広葉樹林が広がるが、ほとんどが二次林である。一部にはスダジイ自然林が残存するが、面積は限られる (上條 2005)。

原稿受付：平成 28 年 1 月 20 日 原稿受理：平成 28 年 5 月 18 日

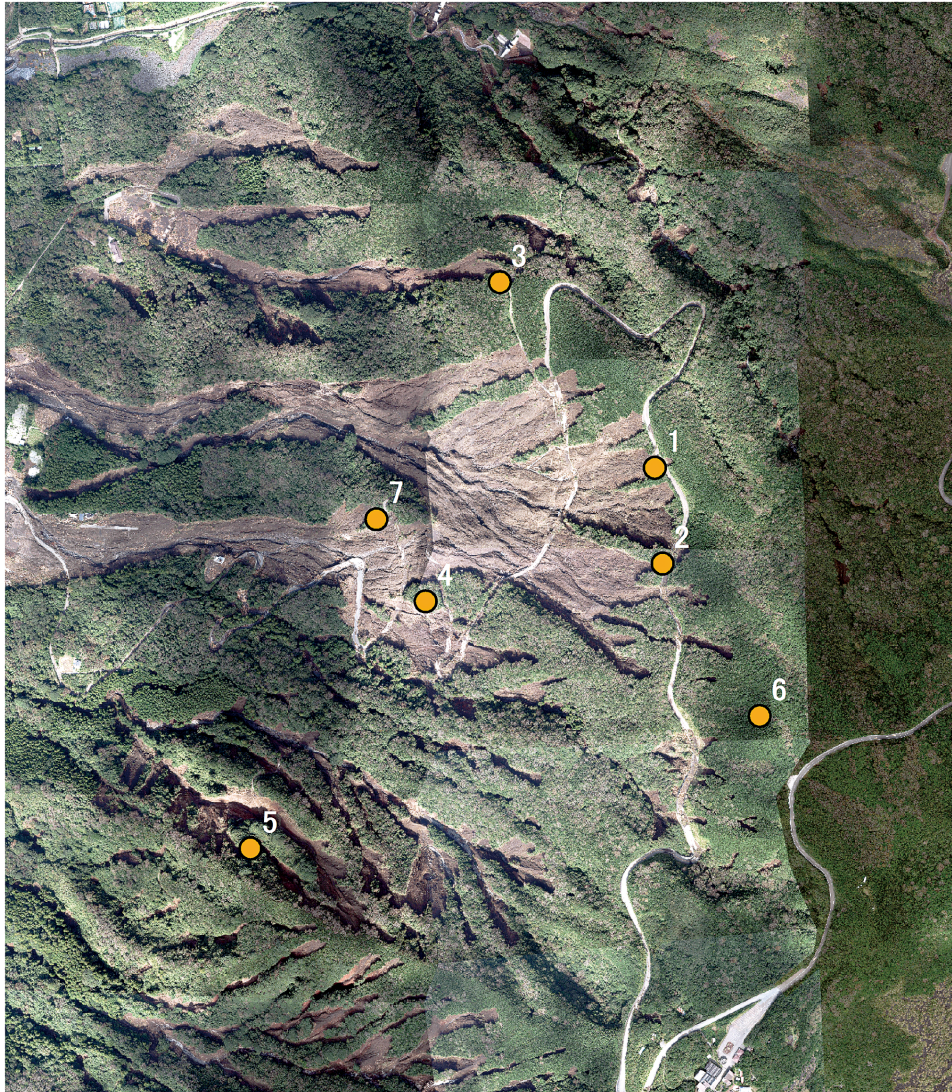
1) 森林総合研究所森林植生研究領域

2) 森林総合研究所植物生態研究領域

3) 元森林総合研究所水土保全研究領域

4) 森林総合研究所国際連携推進拠点

* 森林総合研究所北海道支所 〒062-8516 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘 7



0 250 500 1,000 m

Fig. 1. 方形区の位置図
方形区 1 のみ 5m × 10m、その他は 10m × 10m の大きさである。

Table 1. 各方形区の優占種・幹密度・胸高断面積合計・出現種数・生重量・乾重量

| 方形区 | 優占種 | 面積 (m ²) | 幹密度 (×10 ³ /ha) | 胸高断面積 合計 (m ² /ha) | 出現種 数 |
|-----|-------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|
| 1 | オオシマザクラ ヤブツバキ | 50 | 7.8 | 59.5 | 7 |
| 2 | ヒサカキ ハチジョウイヌツゲ | 100 | 6.3 | 42.7 | 7 |
| 3 | ヒサカキ ハチジョウイヌツゲ | 100 | 10.6 | 80.2 | 6 |
| 4 | オオシマザクラ ヤブツバキ | 100 | 6.6 | 73.7 | 9 |
| 5 | スダジイ | 100 | 3.1 | 95.5 | 7 |
| 6 | ヒサカキ ハチジョウイヌツゲ | 100 | 12.0 | 69.4 | 10 |
| 7 | タブノキ オオシマザクラ | 100 | 3.6 | 62.8 | 8 |

2.2 調査地

2013年12月から2014年7月にかけて、伊豆大島の斜面崩壊発生地に隣接する7か所の調査地点(標高216~522m)に10m×10m(6か所)または5m×10mの方形区(1か所)を設置した(Table 1, Fig. 1)。また、被災地の災害発生以前の植生タイプを推定した。植生タイプは、GIS上で重ね合わせた航空写真と植生図(東京都環境局・アジア航測2013, 伊豆諸島植生研究グループ2013)による推定に加え、現地における植生調査による情報を統合して判断した。

2.3 データ採取

各方形区を設置した直後に、各調査地点内の胸高周囲長10cm以上の全ての樹幹について樹種同定を行い、胸高周囲長を測定した。これらの記録をもとに胸高直径を計算した。一部についてはレーザー距離計(Laser Technology社製TruPulse 200)を使用して樹高も測定した。

2014年7月に、調査地点周辺で根が露出している倒木15本を、樹種の同定をしながら採取し、幹・枝葉・地下部にわけて生重量を測定した。それぞれの一部をサンプルとして持ち帰り、乾燥機にて乾燥(75°C, 7日間)ののち、乾重量を測定した。地下部のサンプルはこのうち8本から採取した。可能な限り付着した土壌を落とした状態で生重量を測定し、乾燥ののち、土付きの乾重量を測定した。その後、土を洗い落とし、ふたたび乾燥させて、乾重量を測定した。

2.4 胸高直径-樹高関係の推定

胸高直径(D (cm))から樹高(H (m))を推定するため、相対成長式による関係式を作成した。

$$\log(H - 1.3) = a_s + b_s \log D + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim \text{Normal}(0, \sigma)$$

ここで、 ε は誤差であり、平均が0、標準偏差が σ の正規分布にしたがうとした。また、 a_s および b_s は種ご

とのパラメーターであり、それぞれの平均 a_0 および b_0 から、種ごとのランダム効果 ε_a および ε_b をもってばらつくとした。そして、 ε_a および ε_b の事前分布は平均が0、標準偏差がそれぞれ σ_a および σ_b の正規分布とした。

$$\begin{aligned} a_s &= a_0 + \varepsilon_a, & \varepsilon_a &\sim \text{Normal}(0, \sigma_a) \\ b_s &= b_0 + \varepsilon_b, & \varepsilon_b &\sim \text{Normal}(0, \sigma_b) \end{aligned}$$

伊東(2015)の拡張相対成長式のモデルを、上のモデルに相当するように改変し(リストS1)、パラメーターの値をStan(Stan Development Team 2015)を使用してベイズ推定した。このとき、 a_0 および b_0 の事前分布は、平均が0、標準偏差が100の正規分布とし、 σ および σ_a 、 σ_b の事前分布は[0, 1000]の一様分布とした。ここで得られた事後平均を用いて、パラメーター推定に使用しなかった幹の樹高を推定した。樹高が測定されていた本数が2本未満の種と、著しく傾いていた幹については、この推定のために使用したデータからは除いた。6000回の連鎖を4本求め、それぞれについて最初の1000回をのぞく5000回分から5回おきにサンプリングして事後分布を推定した。推定した各パラメーターの事後平均を用いて、樹高未測定幹について樹高を推定した。このとき、樹種ごとのランダム効果を求めた樹種については、ランダム効果を含めて推定をおこなった。

2.5 現存量の推定

根の生重量について、土付きの乾重量と土を落とした後の乾重量との比を、土付きの生重量の値にかけることにより推定した。

つづいて、胸高直径の2乗×樹高(D^2H)から、幹・枝葉・地下部のそれぞれの生重量を推定するアロメトリー式を作成した。各部位の生重量(W_R)と D^2H の間には相対成長式で表現される関係が成り立つとした。これにより、両者の対数の間には線形の関係が成り立つこととなるので、 $\log W_R$ を目的変数とし、 D^2H を説明変数とした線形モデルを作成し、最小2乗法によりパラメーター

Table 1. つづき

| 生重量 | | | | | 乾重量 | | | | | T/R比 |
|-------------|--------------|-------------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------------|--------------|------|
| 幹 (t/ha) | 枝葉 (t/ha) | 根 (t/ha) | 地上部 (t/ha) | 全重 (t/ha) | 幹 (t/ha) | 枝葉 (t/ha) | 根 (t/ha) | 地上部 (t/ha) | 全重 (t/ha) | |
| 208 | 57 | 106 | 265 | 371 | 116 | 29 | 50 | 145 | 195 | 2.9 |
| 140 | 39 | 74 | 178 | 253 | 78 | 19 | 35 | 97 | 133 | 2.8 |
| 283 | 78 | 146 | 361 | 506 | 158 | 39 | 69 | 197 | 266 | 2.8 |
| 265 | 71 | 120 | 335 | 455 | 148 | 36 | 57 | 183 | 240 | 3.2 |
| 401 | 104 | 154 | 505 | 659 | 224 | 52 | 73 | 276 | 349 | 3.8 |
| 207 | 58 | 113 | 265 | 378 | 116 | 29 | 54 | 145 | 198 | 2.7 |
| 215 | 57 | 92 | 271 | 363 | 120 | 28 | 44 | 148 | 192 | 3.4 |

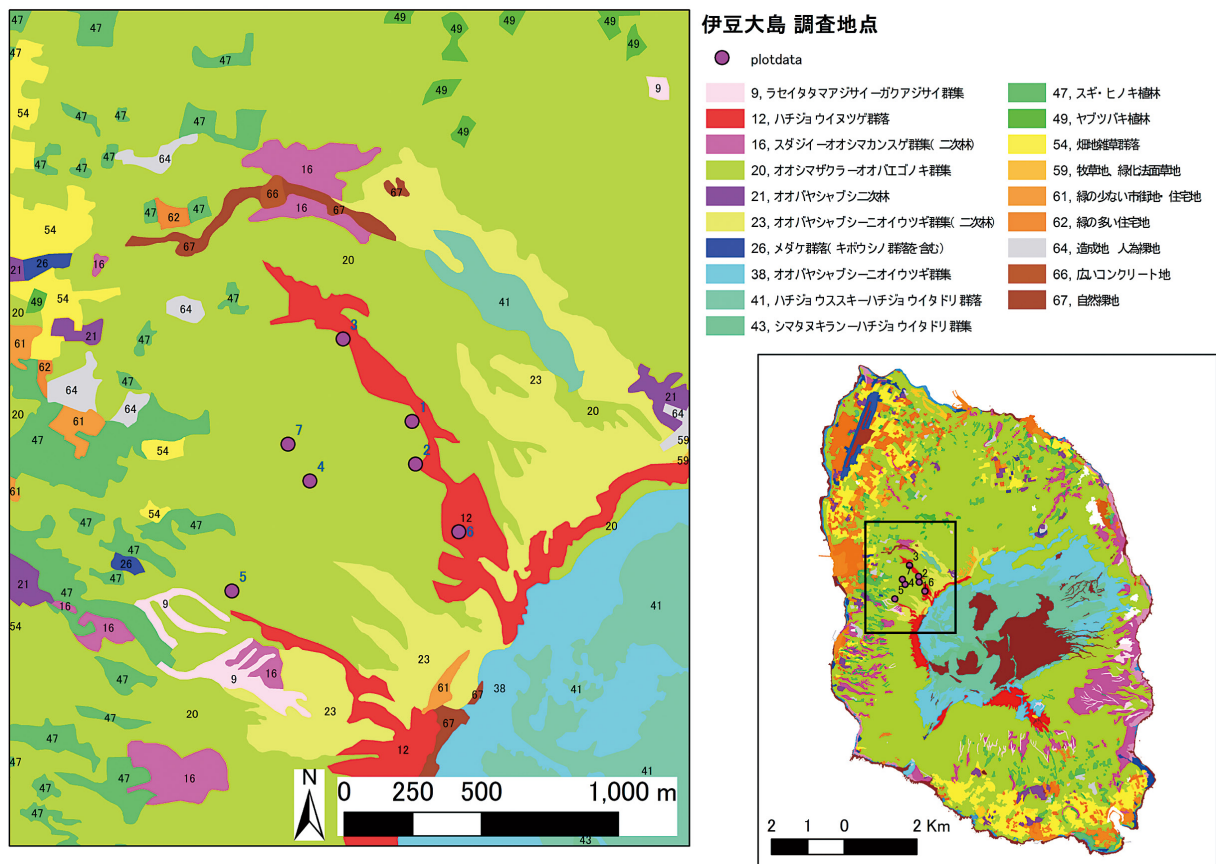


Fig. 2. 崩壊地周辺および伊豆大島の現存植生 (東京都環境局・アジア航測 (2013) を改編した。)

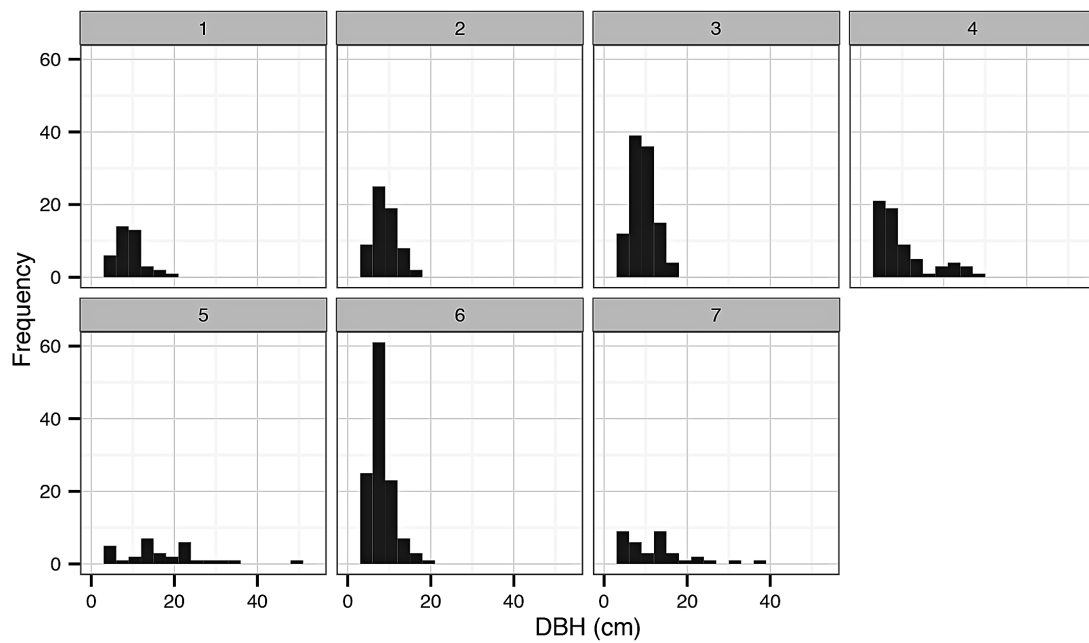


Fig. 3. 各方形区の胸高直径階分布

の推定をおこなった。この際、サンプルサイズが小さいため、樹種によるランダム効果の推定はおこなわなかった。この計算には、R 3.2.0においてlm関数を使用した。

幹・枝葉・地下部のそれぞれについて乾重量/生重量比を求め、各方形区について幹・枝葉・地下部のそれぞれの乾重量を推定した。

3. 結果

3.1 植生の分布状況

崩壊斜面の航空写真と、伊豆大島の植生図(東京都環

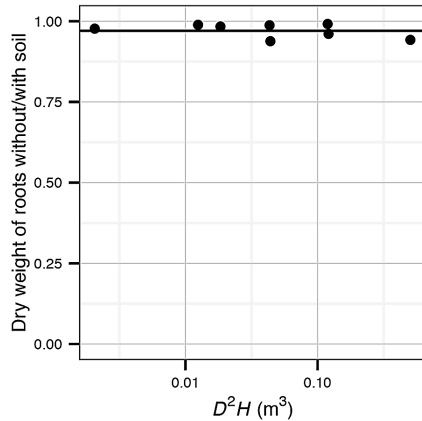


Fig. 4. D^2H と、土除去後/土除去前の根乾燥重の比との関係

境局・アジア航測 2013) によれば、斜面崩壊前の植生はオオシマザクラ - オオバエゴノキ群集の森林が優占していた (Fig. 2)。オオシマザクラ - オオバエゴノキ群集は島で最も卓越する植生である (調査地点 1, 4, 5, 7)。一方、オオシマザクラ - オオバエゴノキ群集の上部には、ハチジョウイヌツゲ群落が帯状に分布しており、現在も残存している (調査地点 2, 3, 6)。

3.2 林分構造

全 7 調査地点で 19 種が記録された。各調査地点において胸高断面積合計で最も割合の高かった樹種上位 2 種を優占種とした。ただし、最上位樹種の割合が 90% を超える場合はその樹種のみを優占種とした。Table 1 に、各調査地点の面積・幹密度・胸高断面積合計・出現種数・優占種を示した。また Fig. 3 に各調査地点の胸高直径階分布 (横軸は 3cm 間隔) を示した。調査地点 1, 4 ではオオシマザクラ (*Cerasus speciosa*) とヤブツバキ (*Camellia japonica*) が優占していた。調査地点 2, 3, 6 ではヒサカキ (*Eurya japonica*) とハチジョウイヌツゲ (*Ilex crenata* var. *hachijoensis*)、5 ではスダジイ (*Castanopsis sieboldii*)、7 ではタブノキ (*Machilus thunbergii*) とオオシマザクラがそれぞれ優占種だった。胸高断面積合計は、スダジイの優占していた調査地点 5 が最も大きかった。調査地点 5 と、タブノキが優占していた調査地点 7 以外の胸高直径階分

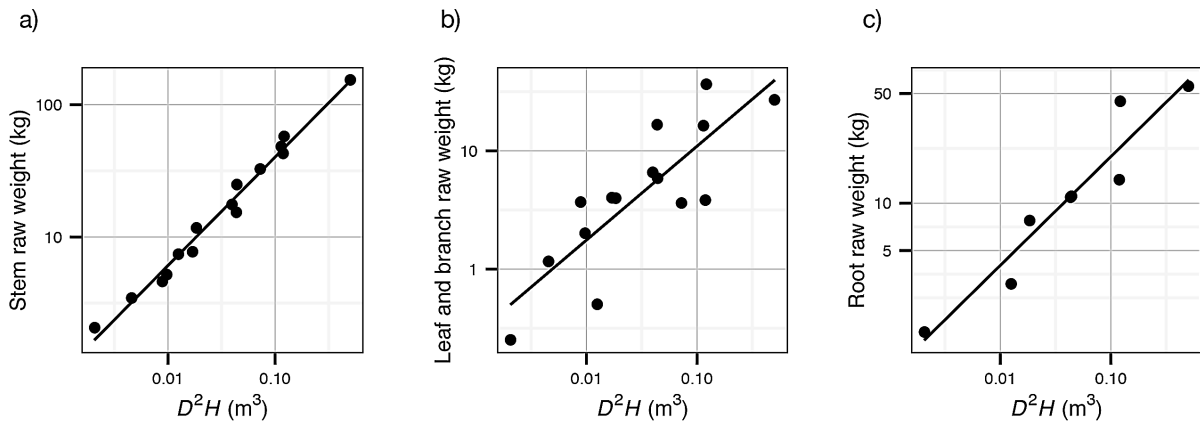


Fig. 5. D^2H と、a) 幹生重量、b) 枝葉生重量、c) 根生重量との関係

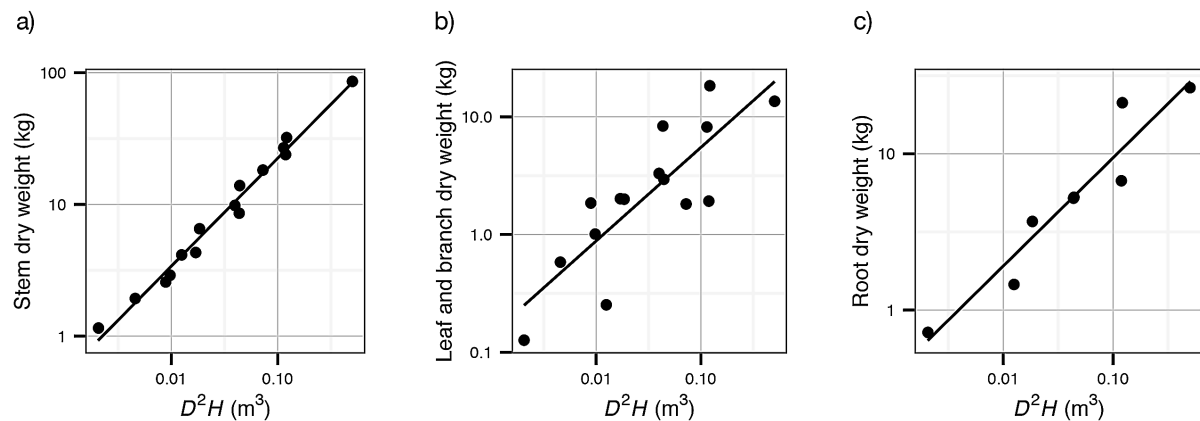


Fig. 6. D^2H と、a) 幹乾重量、b) 枝葉乾重量、c) 根乾重量との関係

布は、いずれも DBH 3 ~ 6cm または 6 ~ 9cm の階級の頻度が最も大きい分布パターンを示していた。

以上の結果をもとに、本稿では調査地点 1, 4, 7 をオオシマザクラ優占林、2, 3, 6 をヒサカキ - ハチジョウイヌツゲ林と呼ぶ。調査地点 5 はスダジイのみが優占するので、スダジイ林と呼ぶ。

3.3 胸高直径-樹高関係

全調査地点で測定した 19 種 461 本のうち、11 種 184 本の幹のデータを使用して、胸高直径-樹高曲線の推定をおこなった。ベイズ推定したパラメーターの事後平均 (Table 2) を用いると、樹種間差を含めない平均的な相対成長式は以下のように推定された。

$$\log(H - 1.3) = 0.530 + 0.465 \log D$$

各樹種のパラメーターは Table 3 に示した。胸高直径-樹高曲線の推定に使用しなかった樹幹について、Table 3 のパラメーターがある種については当該樹種のパラメーターを使用して、ない種については上の式を用いて樹高を推定した。

各樹幹について、測定値または推定値を使用して、 D^2H を求めた。

Table 2. 樹種ごとのランダム効果以外のパラメーター推定値

| パラメーター | 平均 | 95%信用区間 |
|------------|-------|---------------|
| a_0 | 0.530 | 0.127 ~ 0.785 |
| b_0 | 0.465 | 0.054 ~ 0.567 |
| σ | 0.271 | 0.014 ~ 0.302 |
| σ_a | 0.160 | 0.080 ~ 0.336 |
| σ_b | 0.046 | 0.031 ~ 0.122 |

Table 3. 樹種ごとのランダム効果の推定値

| 樹種 | a についてのランダム効果 | | b についてのランダム効果 | |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 事後平均 | 95%信用区間 | 事後平均 | 95%信用区間 |
| イヌマキ | 0.491 | 0.137 ~ 0.762 | 0.469 | 0.339 ~ 0.593 |
| オオシマザクラ | 0.572 | 0.168 ~ 0.918 | 0.467 | 0.348 ~ 0.576 |
| オオバエゴノキ | 0.612 | 0.182 ~ 0.986 | 0.481 | 0.351 ~ 0.612 |
| シロダモ | 0.452 | 0.124 ~ 0.707 | 0.451 | 0.307 ~ 0.574 |
| スダジイ | 0.699 | 0.202 ~ 1.103 | 0.502 | 0.379 ~ 0.624 |
| タブノキ | 0.657 | 0.174 ~ 1.008 | 0.482 | 0.36 ~ 0.605 |
| ハチジョウイヌツゲ | 0.405 | 0.156 ~ 0.730 | 0.435 | 0.299 ~ 0.556 |
| ハチジョウイボタ | 0.409 | 0.157 ~ 0.713 | 0.440 | 0.274 ~ 0.570 |
| ヒサカキ | 0.433 | 0.133 ~ 0.698 | 0.459 | 0.338 ~ 0.576 |
| ヤブツバキ | 0.602 | 0.133 ~ 0.873 | 0.465 | 0.335 ~ 0.588 |
| ヤブニッケイ | 0.498 | 0.140 ~ 0.782 | 0.459 | 0.322 ~ 0.586 |

3.4 相対成長関係

生重量および乾重量の推定のためにサンプリングした個体を Table 4 に示した。根のサンプルを採取した 8 個体について、根の土付きの乾重量と土を落とした後の乾重量との比と、 D^2H との関係を Fig. 4 に示した。 D^2H および $\log D^2H$ を説明変数として直線回帰をおこなったところ、いずれも傾きは有意に 0 とは異ならず (いずれも $P > 0.05$)、この値はほぼ一定であった。このため平均値 0.970 を、根の土付きの乾重量と土を落とした後の乾重量との比 (R_{Prop}) として採用し、土付きの根の生重量の値を R_{Prop} をかけた値を、根の生重量 (W_{RR}) とした。

幹の生重量 (W_{RS}) と枝葉の生重量 (W_{RBL})、根の生重量 (W_{RR}) とそれぞれと D^2H との関係はそれぞれ以下のように推定された (Fig. 5)。

$$\log(W_{\text{RS}}) = 5.58 + 0.820 \log(D^2H), \quad R^2 = 0.98 (P < 0.01)$$

$$\log(W_{\text{RBL}}) = 4.22 + 0.794 \log(D^2H), \quad R^2 = 0.69 (P < 0.01)$$

$$\log(W_{\text{RR}}) = 4.58 + 0.693 \log(D^2H), \quad R^2 = 0.91 (P < 0.01)$$

また、幹の乾重量 (W_{DS}) / 生重量 (W_{RS}) 比および枝葉の乾重量 (W_{DBL}) / 生重量 (W_{RBL}) 比、根の乾重量 (W_{DR}) / 生重量 (W_{RR}) 比はそれぞれ以下のように推定された (Fig. 6)。

$$W_{\text{DS}} = 0.558 W_{\text{RS}}, \quad R^2 = 0.99 (P < 0.01)$$

$$W_{\text{DBL}} = 0.502 W_{\text{RBL}}, \quad R^2 = 0.98 (P < 0.01)$$

$$W_{\text{DR}} = 0.476 W_{\text{RR}}, \quad R^2 = 1.00 (P < 0.01)$$

以上の関係から、 W_{DS} および W_{DBL} 、 W_{DR} のそれぞれと D^2H との関係がそれぞれ以下のように求められた。

$$\log(W_{\text{DS}}) = 5.00 + 0.820 \log(D^2H)$$

$$\log(W_{\text{DBL}}) = 3.53 + 0.794 \log(D^2H)$$

$$\log(W_{\text{DR}}) = 3.84 + 0.693 \log(D^2H)$$

3.5 各調査地点の生重量および乾重量

各調査地点の樹木について、上で求めた相対成長関係から調査地点ごとの生重量を求めた (Table 1)。各調査地点の生重量は、スダジイ林の調査地点 5 で最も大きく、659t/ha と推定された。一方、最も小さかったのはヒサカキ - ハチジョウイヌツゲ林の調査地点 2 で、253t/ha であった。

同様に、各調査地点の乾重量を推定した (Table 1)。乾重量の地上部現存量は調査地点 5 で最も大きく、276t/ha と推定された。最も小さいと推定された調査地点 2 では 97t/ha であった。乾重量の全重でも、両者が最大と最小で、それぞれ 349t/ha、133t/ha と推定された。T/R 比では調査地点 5 が最も大きく 3.8、調査地点 6 が最も小さく 2.7 と推定された。

4. 考察

4.1 崩壊地周辺の森林群落の組成と構造

今回の崩壊地に優占していたと思われるオオシマザクラ優占林は、伊豆諸島の代表的な二次林植生であり、固有の群落である。オオシマザクラやオオバエゴノキなどの落葉広葉樹が優占するが、シロダモ、ヤブニッケイ、ヒサカキ、ヤブツバキなどの常緑広葉樹も亜高木層や低木層に多く生育する群落である。伊豆大島では標高 20m から 550m までの範囲に成立し、最も広域的に分布する群落である (伊豆諸島植生研究グループ 2013)。このことから、斜面崩壊を植物群落の種類構成だけから予見することは困難であったと推定できる。

4.2 群落タイプごとの現存量の推定

森林の推定された地上部現存量は、スダジイ林、オオシマザクラ優占林、ヒサカキ - ハチジョウイヌツゲ林の順に減少した。崩壊地付近で多く見られるオオシマザクラ優占林では 145 ~ 183t/ha であった。また最小値はヒサカキ - ハチジョウイヌツゲ林の 97t/ha、最大値はスダジイ林における 276t/ha であった。京都府山城町の生産性の低いコナラとソヨゴの広葉樹二次林の地上部現存量 (乾重量) は 105t/ha であり (DBH>1cm, 後藤ら 2003)、最小値のヒサカキ - ハチジョウイヌツゲ林以外はこれよりも大きかった。一方、熊本県水俣の 60 年生常緑広葉樹林の地上部現存量は 327 ~ 375t/ha 程度 (Kira et al. 1978)、宮崎県綾の成熟した常緑広葉樹林の地上部現存量は 301 ~ 316t/ha 程度であり (Sato 2010)、今回の最大値であったスダジイ林も、これらと比較すると小さかった。胸高直径階分布を見ると、スダジイ林以外では、21cm 以下の階級が大半を占めており、小径木が中心となっていた (Fig. 3)。また、後述のように、樹高もスダジイ林以外では 10m を超える程度であったと推定された。このようにスダジイ林以外では、小サイズの幹が多く、このため地上部現存量も、成熟した森林と比較すると小さかったと考えられる。

時間の経過で植生が発達し現存量が増すことは、根系の発達を意味するため斜面の安定に寄与する可能性がある。しかし逆に、地上部荷重の増大や強風時の振動による地盤の脆弱化という面では斜面の安定にとって不安定な要素にもなり得る。今回の崩壊地付近の林分の現存量は、他の林分に比べて極端に大きい値ではなかったことから、斜面崩壊を植物群落の現存量だけから予見するこ

Table 4. 現存量推定のためにサンプリングした個体のデータ

| No. | 樹種 | 樹幹長(m) | 胸高直径(cm) | 根の幅(m) | | 根の深さ(m) |
|-----|-----------|--------|----------|--------|------|---------|
| | | | | 水平方向 | 斜面方向 | |
| 1 | ハチジョウキブシ | 3.9 | 4.8 | | | |
| 2 | ハチジョウイヌツゲ | 3.65 | 3.5 | | | |
| 3 | ヤブニッケイ | 4 | 4.9 | | | |
| 4 | ヒサカキ | 6.95 | 13.2 | 2.4 | 1.4 | 1 |
| 5 | ヤブツバキ | 6.2 | 4.5 | 1.3 | 1.7 | 1.1 |
| 6 | ヒサカキ | 7.13 | 7.9 | 1.52 | 0.9 | 0.8 |
| 7 | ヤブツバキ | 2.4 | 2.9 | 0.64 | 0.75 | 0.47 |
| 8 | オオシマザクラ | 10.81 | 21.6 | 4.8 | 2.55 | 1.5 |
| 9 | ハチジョウイヌツゲ | 4.55 | 6.4 | 0.65 | 3.04 | 0.55 |
| 10 | オオシマザクラ | 8.37 | 11.9 | 2.25 | 2.1 | 0.74 |
| 11 | オオバエゴノキ | 8.1 | 9.5 | | | |
| 12 | シロダモ | 6.15 | 5.3 | | | |
| 13 | オオバヤシャブシ | 4.89 | 9.4 | 2.8 | 2.54 | 0.45 |
| 14 | シロダモ | 6.02 | 8.1 | | | |
| 15 | オオバエゴノキ | 8.69 | 11.5 | 2.27 | | 0.83 |

とは困難であったと推定できる。

本研究では樹木が地表面にかかる荷重を推定するための基礎データとして乾重量だけではなく生重量についても記載した。生重量の相対的な順位は乾重量と同様であった。今後のこのような調査の際には、生重量についても記載することで防災上の研究に寄与するものと考えられる。ただし、今回の結果で示したとおり、幹の乾重量 (W_{DS}) と生重量 (W_{RS}) は高い相関を示しており (0.558)、同様の種組成の森林であれば、過去の乾重データから生重量データを高い精度で推定可能と考えられる。

4.3 根系への現存量配分

地上部/地下部の現存量比 (T/R 比) は根の現存量に対する地上部現存量の比をあらわし、値が小さいほど根の現存量の割合が大きいことを意味する。今回の調査地点の林分で推定された T/R 比はスダジイ林で 3.8、オオシマザクラ優占林で 2.9 ~ 3.8、ヒサカキ - ハチジョウイヌツゲ林で 2.7 ~ 2.8 であった。これらの T/R 比の値は、温帯林における既存の報告例と比較しても、平均的または小さい部類であった (吉良 1976, Vogt et al. 1996, Cairns et al. 1997)。例えば、日本のブナ林では、2.4 から 6.7 (Ono et al. 2013) と、また未熟土で根量が少ないアカエゾマツ - トドマツ林およびカラマツ - シラカンバ林では、4.0 から 4.9 (Sakai et al. 2007) と報告されている。つまり、今回の崩壊地付近の林分では、根が少ないために斜面崩壊が発生したとは言えないと考えられる。

根の分布様式は根系の機械的働きに大きな影響を持ち、樹種間差だけでなく、同樹種内で垂下根・斜出根の発達が悪い個体は倒伏しやすい傾向がある (苅住 1979)。今回の対象樹種は、多くが浅根性 (苅住 1979) であるが、溶岩流の上に形成されている林分のため、根系の分布が制限されている可能性が考えられる。実際に、倒木により根系の深さを調べた結果、ヤブツバキやオオシマザクラでは、1m 以上深くに根の分布が確認できたが、ヒサカキやハチジョウイヌツゲの多くの個体では 0.8m より浅い土壌に根系が分布していた (村上ら 2016)。今回の崩壊地付近の林分の根の現存量配分は他の林分に比べて少ないわけではなかったが、林分全体の根系の分布様式が浅いという点が特徴として挙げられるかもしれない。本研究の成果は、現存量 (生重量) が地表面に与えていた負荷の評価、例えばすべり面より上の崩壊した土+水の質量と比較して、樹木の生重量が斜面崩壊に対して相対的にどのくらいの影響を及ぼしたのかのシミュレートなどに役立つと思われる。

4.4 過去の生重量 (全重) の推定

林分の地上部現存量を上層木平均樹高で割った現存量密度は、上層木平均樹高がおおよそ 5m 以上の林分ではおおむね一定となることが知られている (Kira and Shidei 1967)。ここで、生重量/乾重量の比および地上部/地

下部現存量の比を一定であると仮定すると、生重量 (全重) は上層木平均樹高に比例することになる。これらの仮定を用いると、現在の上層木平均樹高と生重量がわかっている林分について、過去の上層木平均樹高がわかれば、当時の林分の生重量を推定することができる。

今回の調査地点について、1976 年の国土地理院の空中写真と 2013 年の航空測量を元に数値標高モデル (DEM, Digital Elevation Model) および数値表層モデル (DSM, Digital Surface Model) が作成されている (大丸 2016)。これを元に 1976 年と 2013 年の林冠高を推定したところ、調査地点 1 でそれぞれ 6.2m および 7.7m、調査地点 4 で 5.8m および 7.3m、調査地点 7 で 8.1m および 11.3m となった。これらの値を上層木平均樹高として用いることにすると、崩壊が発生したとみられるオオシマザクラ優占林と分類された調査地点 1, 4, 7 の 2013 年の生重量 (全重) はそれぞれ 371, 455, 363t/ha と推定された。この値から調査地点 1, 4, 7 の 1976 年の生重量 (全重) を推定すると、それぞれ 299, 361, 260t/ha となった。したがって、1976 年から 2013 年までの 38 年間の生重量 (全重) の増加量は 72, 94, 103t/ha と推定された。斜面への荷重の増加が定量的に推定できたことは、今回の斜面崩壊にそれがどのように影響したのかを定量的に評価するために役立つものと考えられる。

謝辞

現地調査にあたっては、東京都庁伊豆大島支庁の東亮太氏に便宜を図っていただいた。筑波大学の上條隆志教授には調査計画立案等に際して貴重なご意見や文献資料等をいただいた。森林総合研究所の梶本卓也・斉藤哲・佐藤保・杉田久志、山梨県森林総合研究所の飯島勇人の各氏には現地調査に協力いただいた。ここにお礼申し上げる。本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「局所的豪雨による山地災害の発生機構」により実施した。また本研究の一部は、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) により実施した。

引用文献

- 阿部 和時 (2006) 森林の持つ斜面崩壊防止機能. 日緑工誌, 31, 330-337.
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. and Baumgardner, G.A. (1997) Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111, 1-11.
- 大丸 裕武 (2016) 写真測量による伊豆大島三原山北西斜面における近年の植生高変化の復元. 森林総研研報, 15, 49-57.
- 後藤 義明・小南 裕志・深山 貴文・玉井 幸治・金澤 洋一 (2003) 京都府南部地方における広葉樹二次林の地上部現存量及び純生産量. 森林総研研報, 2, 115-147.
- 平岡 真合乃・恩田 裕一・加藤 弘亮・水垣 滋・

- 五味 高志・南光 一樹 (2010) ヒノキ人工林における浸透能に対する下層植生の影響. 日林誌, 92, 145-150.
- 今井 久 (2008) 樹木根系の斜面崩壊抑止効果に関する調査研究. ハザマ研究年報, 12, 34-52.
- 伊東 宏樹 (2015) 樹種間差および測定誤差を考慮した胸高直径-樹高関係のベイズ推定. 森林総研研報, 14, 73-74.
- 伊豆諸島植生研究グループ (2013) 大島の植生. 財団法人自然保護助成基金 2012 年度プロ・ナトゥーラファンド助成成果報告書. 48 pp.
- 気象庁 (2016) “大島平年値 (年・月ごとの値)”, http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_sfc_ym.php?prec_no=44&block_no=47675, (参照 2016-03-11).
- 上條 隆志 (2005) 伊豆大島. 福嶋 司・岩瀬 徹編著 “図説日本の植生”. 朝倉書店, 114-115.
- 苅住 昇 (1979) 樹木根系図説. 誠文堂新光社, 1121 pp.
- 吉良 竜夫 (1976) 生態学講座 2 陸上生態系. 共立出版, 172 pp.
- Kira, T. and Shidei, T. (1967) Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western pacific. Jap. J. Ecol., 17, 70-87.
- Kira, T., Ono, Y. and Hosokawa, T. (1978) Biological production in a warm-temperate evergreen oak forest of Japan. JIBP Synthesis 18, University of Tokyo Press, 288 pp.
- 村上 亘・小川 明穂・小川 泰浩・大丸 裕武 (2016) 2013 年台風 26 号により伊豆大島で崩壊が発生した崩壊斜面頭部の樹木根系の分布状況について. 森林総研研報, 15, 31-38.
- Ono, K., Yasuda, Y., Matsuo, T., Hoshino, D., Chiba, Y. and Mori, S. (2013) Estimating forest biomass using allometric model in a cool-temperate *Fagus crenata* forest in the Appi Highlands, Iwate, Japan. Bull. FFPRI, 428, 125-141.
- Sakai, Y., Takahashi, M. and Tanaka, N. (2007) Root biomass and distribution of a *Picea-Abies* stand and a *Larix-Betula* stand in pumiceous Entisols in Japan. J. For. Res., 12, 120-125.
- Sato, T. (2010) Stock of coarse woody debris in old-growth lucidophyllous forests in southwestern Japan. J. For. Res., 15, 404-410.
- Stan Development Team (2015) Stan modeling language users guide and reference manual, Version 2.6.0. URL <http://mc-stan.org/>. (参照 2015 年 11 月 5 日)
- 東京都環境局・アジア航測 (2013) 平成 24 年度伊豆諸島植生図, 平成 24 年度東京都 (伊豆諸島) 現存植生調査委託報告書 (別冊). 東京都環境局自然環境部計画課・アジア航測株式会社.
- Vogt, K. A., Vogt, D. J., Palmiotto, P. A., Boon, P., O'Hara, J. and Asbjornsen, H. (1996) Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. Plant and Soil, 187, 159-219.

補足電子資料

以下はオンライン版のみの掲載となります。 <http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/438/index.html>

リスト S1. 相対成長式のパラメータを推定する Stan モデル

Woody biomass in the vicinity of a slope failure site occurred on the October 16, 2013, in Izu-Oshima Island

Hiroki ITÔ^{1)*}, Tetsuya MATSUI²⁾, Hiroyuki TOBITA²⁾, Tetsuya IGARASHI¹⁾,
Akiho OGAWA³⁾ and Yojiro MATSUURA⁴⁾

Abstract

To offer essential data to evaluate how the forest affected the slope failure in Izu Oshima Island, we estimated both above- and below-ground biomass per unit area for each vegetation type. Aerial photographs and vegetation map were overlaid on GIS, and the vegetation types at the slope failure site were estimated. Seven quadrats were established adjacent to the slope failure sites, and the diameter at breast height was recorded for each tree stems more than or equal to 10cm in circumference. The former vegetation types before the slope failure determined by vegetation maps were as follows: *Cerasus speciosa* (hereafter *Cerasus*) forest, *Eurya japonica* - *Ilex crenata* var. *hachijoensis* (hereafter *Eurya-Ilex*) forest, and *Castanopsis sieboldii* (hereafter *Castanopsis*) forest. The estimated above-ground biomass was the highest in the *Castanopsis* forest (276t/ha), followed by the *Cerasus* (145–183t/ha) and *Eurya-Ilex* (97–197t/ha) forests. The T/R ratios (top weight / root weight) were 2.9–3.8 and 2.7–2.8 in the *Cerasus* and *Eurya-Ilex* forests, respectively. Although there was no difference in aboveground biomass between the *Cerasus* and *Eurya-Ilex* forest, the T/R ratio tended to be higher in the *Cerasus* forest. In this study, the woody biomass (raw weights) at the time of the failure was estimated. The results should be useful for evaluating how much load the biomass weigh on the ground of collapsed.

Key words : dry weight, wet weight, root, biomass allocation, Bayesian estimation

Received 20 January 2016, Accepted 18 May 2016

1) Department of Forest Vegetation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Department of Plant Ecology, FFPRI

3) Department of Soil and Water Conservation, FFPRI

4) Bureau of International Partnership, FFPRI

* Hokkaido Research Center, FFPRI, 7 Hitsujigaoka, Toyohira, Sapporo, Hokkaido, 062-8516 JAPAN; e-mail:hiroki@affrc.go.jp