

第 8 章

落葉広葉樹林における適正な立木密度管理のための 土壌侵食リスク早見表

藤木大介¹

¹兵庫県森林動物研究センター

要 点

- ・シカの影響により下層植生が衰退し、立木密度が低くなった落葉広葉樹林では、土壌侵食被害が発生するケースが増加しており、森林のもつ公益的機能を維持するうえで問題となっている。
- ・そこで本章では、立木密度を基準とした土壌侵食の発生予測ができるモデルを構築し、林分の斜面傾斜角度別に立木密度に応じた土壌侵食リスクが簡易判定できる早見表を作成した。
- ・早見表を参照すれば、森林整備の対象となる林分の土壌侵食リスクと、土壌侵食防止のために誘導すべき立木密度の基準が、簡易判定できる。
- ・早見表は、土壌侵食防止を目的とした落葉広葉樹林の立木密度管理を実施していくうえでの簡便な手引きとなるだろう。

key words: 土壌侵食度、累積ロジットモデル、森林整備、ニホンジカ

8-1. はじめに

近年、兵庫県ではニホンジカ（以下、シカ）の影響による落葉広葉樹林の下層植生の衰退が広域スケールで進んでいる（藤木 2012b, 2017）。下層植生が衰退し、立木密度が低くなった林分では、土壌侵食被害が発生するケースが増加しており（内田ほか 2012）、森林のもつ公益的機能を維持するうえで問題となっている。土壌侵食が発生している林分では、シカの不嗜好性樹木を積極的に植栽するなどの方策を用いて土壌侵食の発生が抑止されるまで立木密度を高める必要がある。また、兵庫方式の里山林整備では、森林中下層の照葉樹の除伐等を実施することにより、植物多様性の高い林分へと誘導することを目的としているが（服部ほか 2010）、この際、過度の除伐等による立木密度の減少に留意する必要がある。

兵庫県では 2006 年以來、シカによる落葉広葉樹林の植生衰退を広域多地点でモニタリング調査しており、このモニタリング調査の中で様々な林分属性と土壌侵食に関するデータも収集している（藤木 2012a,b, 2017）。これらのデータを用いて内田（2012）は、落葉広葉樹林における土壌侵食の強度が下層植生衰退度（Shrub-layer decline rank; SDR）と斜面傾斜角度の 2 変数によって有効な精度で予測できることを示している。しかし、森林整備に際して施業管理の基準となるのは立木密度であることが一般的であること考えると、土壌侵食防止

を目的に森林整備を実施する場合は、SDR ではなく立木密度を基準とした土壌侵食の発生予測ができるモデルを構築する方が望ましい。そこで本章では内田（2012）のモデルで説明変数として使われた SDR の代わりに立木密度を使用して土壌侵食の強度を説明する予測モデルを構築することで、林分の斜面傾斜角度別に立木密度に応じた土壌侵食リスクが簡易判定できる早見表を作成した。

8-2. 作成方法

データの収集

予測モデル作成の元となる野外調査データは、藤木（2017）が兵庫県本州部とその周辺部の落葉広葉樹林を対象に 2014 年に実施した簡易植生調査データ 345 地点のうち、林床におけるササの被度が 25%未満の林分で、データ解析に必要なデータが収集されている 265 地点のデータを用いた。なお、データ解析に使用した調査項目の概要は以下のとおりである。

（1）立木密度

各調査林分において面積 50m²における胸高（地上高 130cm）以上の立木本数をカウントした。具体的には、まず 20m 四方の調査区を設定し、その中央部に 10m のラインを巻尺で設定した。そのうえで、調査員は設定した 10m ラインの両端から左右直角方向に 2m 離れた地点（合計 4 地点）に立ち、それぞれの地点において長さ 2m の赤白ポールを調査者が中心軸になる形で一回転させることで、半径 2m の円を描き、ポールと接触した胸高以上の樹木の立木本数をカウントした（本モノグラフ第 2 章，図 2-2 参照，p20）。なお、立木とは地際で同一の根株をもつものを単位とした。また、ツル性木本植物はカウントに含めなかった。

（2）土壌侵食度

20m 四方の調査区内を踏査し以下の基準において、土壌が侵食されている地表面積割合を目視にて 4 段階評価をした。

①10%以下，②10 - 25%，③ 25 - 50%，④50%以上

（3）立地環境

20m 四方の調査区内における、平均斜面傾斜角度をクリノメーター（金属クリノメーター 松尾式，神山製作所）で測定した。

土壌侵食度の予測モデルの構築

応答変数として土壌侵食度を、説明変数として①立木密度と②斜面傾斜角度を用いたうえで、平行性を仮定しない累積ロジットモデルを構築した。以上の統計解析には、統計解析パッケージ R version 3.1.2 を用いた。

早見表の作成

構築した累積ロジットモデルの予測式に基づいて、立木密度が 0～12,000 本/ha までの範囲での土壤侵食度 (SE01 $\geq 10\%$; SE02 $\geq 25\%$; SE03 $\geq 50\%$) の発生確率を斜面傾斜角度別 (5～40° の範囲で 5° 刻み) に図化した (図 8-1～8-8)。また、作成した図に基づき ha 当たりの立木密度 500 本刻みでの斜面傾斜角度別の各土壤侵食度の発生確率(%)を早見表としてまとめた (表 8-1～8-8)。

8-3. 早見表の見方と活用方法

114～117 ページにおいて、斜面傾斜角度 5°～40° までの範囲で 5° 刻みで、立木密度に応じた土壤侵食度の発生確率の変化を示した図 (図 8-1～8-8) と、ha 当たりの立木密度 500 本刻みでの斜面傾斜角度別の各土壤侵食度の発生確率の早見表 (表 8-1～8-8) を示した。

森林整備をするに当たって対象となる林分の土壤侵食リスクを判定する場合は、対象となる林分の斜面傾斜角度と最も近い図表を参照されたい。個々の早見表では、左端に 1ha 当たりの立木密度が、左から二列目以降に該当する立木密度における各土壤侵食度の発生確率 (%) が示されている。表に示した土壤侵食度は以下の 3 種類である。

SE $\geq 10\%$: 地表面の 10%以上の面積で土壤侵食が発生している林分

SE $\geq 25\%$: 地表面の 25%以上の面積で土壤侵食が発生している林分

SE $\geq 50\%$: 地表面の 50%以上の面積で土壤侵食が発生している林分

早見表には、参考までに立木密度を下層植生衰退度に換算した場合の大まかな目安も立木密度の項目内に示している。なお、ここでいう立木密度とは、根株が地表で別れている立木を単位としたものである。地上で幹が別れているものは同一立木として、地下部で根株が接合していても地表で幹が別れているものは異なる立木として扱っていることに注意されたい。

早見表では、SE $\geq 25\%$ の発生確率が 10%以上となる立木密度を薄い網掛けで、SE $\geq 50\%$ の発生確率が 10%以上となる立木密度を濃い網掛けで示している。

既存の研究によると健全な森林の場合、年間土砂流出量は $1\text{m}^3/\text{ha}$ 未満になることが示されているが (川口 1951; 兵庫県 2015)、SE $\geq 25\%$ の林分における年間土砂流出量は $1.2\text{m}^3/\text{ha}$ 以上になるものと試算され (藤木 未発表)、この基準を超えることとなる。したがって、仮に年間土砂流出量が $1\text{m}^3/\text{ha}$ 以上となる林分の発生確率を 10%未満に抑えることを立木密度管理上の目標と定めるならば、落葉広葉樹林における森林整備に際して除伐等の本数調整伐を実施する際は、薄い網掛けレベルの立木密度まで減少させないような管理計画にする必要がある。また、現状では既にシカの食害等により網掛けレベルの立木密度まで減少して、土壤侵食が発生している落葉広葉樹林が兵庫県内に数多く分布している (内田 2012)。このような落葉広葉樹林における土壤侵食防止を図っていくためには、植生保護柵を設置する、或いは不嗜好性樹木の植栽等を実施する等の措置をとることによって、網掛けが外れる立木密度レベルまで誘導する必要があるだろう。なお、SE $\geq 50\%$ の林分における年間土砂流出量は $9\text{m}^3/\text{ha}$ 以上になると試算されるが (藤木 未発表)、これは年間で厚さ 0.9mm 以上の表土が流出することを意味する。また、この値は耕地における土砂流出量に匹敵すると考えられる

(丸山 1970)。このような林分は森林のもつ土砂流出防止機能が著しく損なわれている状態といえ、上述したような立木密度管理による機能回復を特に優先的に実施していく必要がある。本早見表は、このような土壌侵食防止を目的とした落葉広葉樹林の立木密度管理を実施していくうえでの簡便な手引きとなるだろう。

引用文献

- 藤木大介 (2012a) ニホンジカによる森林生態系被害の広域評価マニュアル。「兵庫県におけるニホンジカによる森林生態系被害の把握と保全技術」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ 4 号, pp.2-16. 兵庫県森林動物研究センター.
- 藤木大介 (2012b) 兵庫県本州部の落葉広葉樹林におけるニホンジカによる下層植生の衰退状況—2006 年から 2010 年にかけての変化—. 「兵庫県におけるニホンジカによる森林生態系被害の把握と保全技術」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ 4 号, pp.17-31. 兵庫県森林動物研究センター.
- 藤木大介 (2017) 兵庫県本州部の落葉広葉樹林におけるニホンジカの影響による下層植生衰退度の変動と捕獲の効果 (2010 年~2014 年). 「兵庫県におけるニホンジカによる森林生態系被害の把握と保全技術Ⅱ」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ 9 号, pp.1-16. 兵庫県森林動物研究センター.
- 服部保・黒田有寿茂・南山典子 (2010) 里山放置林管理マニュアル. 兵庫県立人と自然の博物館, 三田.
- 兵庫県 (2015) 災害に強い森づくり事業検証報告書 2015. 兵庫県, 神戸.
- 川口武雄 (1951) 山地土壌侵食の研究 (第 1 報) 従来の資料による統計的研究. 林試集報 61: 1-37.
- 丸山岩三 (1970) 実践林業大学「森林水文」. 農林出版, 東京.
- 内田圭・岸本康誉・藤木大介 (2012) 兵庫県本州部におけるニホンジカによる落葉広葉樹林の土壌侵食被害の現状. 「兵庫県におけるニホンジカによる森林生態系被害の把握と保全技術」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ 4 号, pp.69-90. 兵庫県森林動物研究センター.

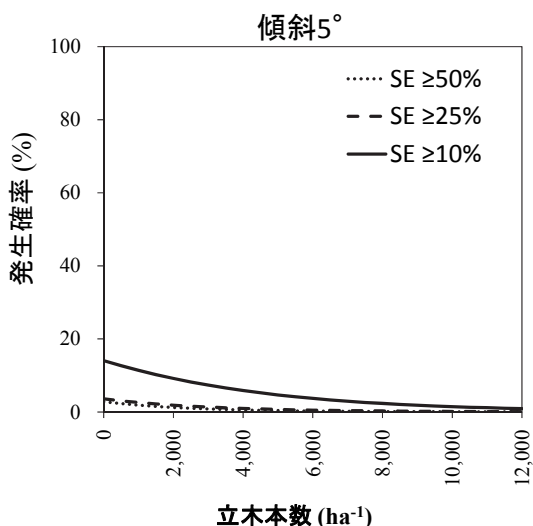


図 8-1 斜面傾斜角度 5° での
土壌侵食発生確率

表 8-1 斜面傾斜角度 5° での
立木密度別の土壌侵食発生確率

立木密度 (ha ⁻¹)	土壌侵食度別の発生確率(%)		
	SE ≥ 50%	SE ≥ 25%	SE ≥ 10%
0	2.8	3.5	14.1
500	2.3	3.0	12.7
1,000	1.9	2.6	11.4
1,500	1.5	2.2	10.2
2,000	1.2	1.8	9.2
2,500	1.0	1.6	8.2
3,000	0.8	1.3	7.3
3,500	0.7	1.1	6.6
4,000	0.5	1.0	5.9
4,500	0.4	0.8	5.2
5,000	0.3	0.7	4.7
5,500	0.3	0.6	4.2
6,000	0.2	0.5	3.7
6,500	0.2	0.4	3.3
7,000	0.2	0.4	2.9
7,500	0.1	0.3	2.6
8,000	0.1	0.3	2.3
8,500	0.1	0.2	2.1
9,000	0.1	0.2	1.8
9,500	0.1	0.2	1.6
10,000	0.0	0.1	1.4
10,500	0.0	0.1	1.3
11,000	0.0	0.1	1.1
11,500	0.0	0.1	1.0
12,000	0.0	0.1	0.9

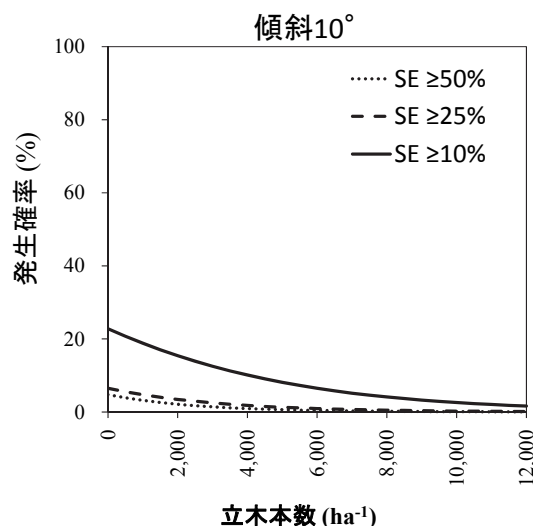


図 8-2 斜面傾斜角度 10° での
土壌侵食発生確率

表 8-2 斜面傾斜角度 10° での
立木密度別の土壌侵食発生確率

立木密度 (ha ⁻¹)	土壌侵食度別の発生確率(%)		
	SE ≥ 50%	SE ≥ 25%	SE ≥ 10%
0	4.7	6.5	22.8
500	3.9	5.5	20.7
1,000	3.2	4.7	18.8
1,500	2.6	4.0	17.0
2,000	2.1	3.4	15.4
2,500	1.7	2.9	13.9
3,000	1.4	2.5	12.5
3,500	1.1	2.1	11.2
4,000	0.9	1.8	10.1
4,500	0.7	1.5	9.0
5,000	0.6	1.3	8.1
5,500	0.5	1.1	7.2
6,000	0.4	0.9	6.5
6,500	0.3	0.8	5.8
7,000	0.3	0.7	5.2
7,500	0.2	0.6	4.6
8,000	0.2	0.5	4.1
8,500	0.1	0.4	3.6
9,000	0.1	0.3	3.2
9,500	0.1	0.3	2.9
10,000	0.1	0.2	2.6
10,500	0.1	0.2	2.3
11,000	0.0	0.2	2.0
11,500	0.0	0.1	1.8
12,000	0.0	0.1	1.6

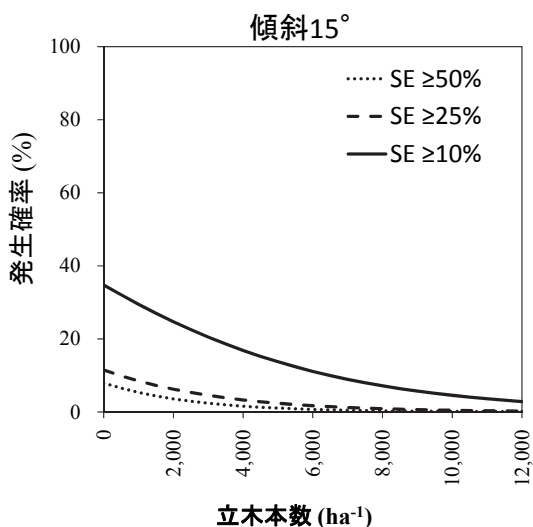


図 8-3 斜面傾斜角度 15° での
土壌侵食発生確率

表 8-3 斜面傾斜角度 15° での
立木密度別の土壌侵食発生確率

立木密度 (ha ⁻¹)	土壌侵食度別の発生確率(%)		
	SE ≥ 50%	SE ≥ 25%	SE ≥ 10%
0	7.9	11.5	34.7
500	6.5	9.9	32.0
1,000	5.3	8.5	29.5
1,500	4.4	7.3	27.0
2,000	3.6	6.2	24.7
2,500	2.9	5.3	22.5
3,000	2.4	4.5	20.5
3,500	1.9	3.9	18.6
4,000	1.6	3.3	16.8
4,500	1.3	2.8	15.2
5,000	1.0	2.4	13.7
5,500	0.8	2.0	12.4
6,000	0.7	1.7	11.1
6,500	0.6	1.5	10.0
7,000	0.4	1.2	8.9
7,500	0.4	1.0	8.0
8,000	0.3	0.9	7.2
8,500	0.2	0.7	6.4
9,000	0.2	0.6	5.7
9,500	0.2	0.5	5.1
10,000	0.1	0.5	4.5
10,500	0.1	0.4	4.0
11,000	0.1	0.3	3.6
11,500	0.1	0.3	3.2
12,000	0.1	0.2	2.8

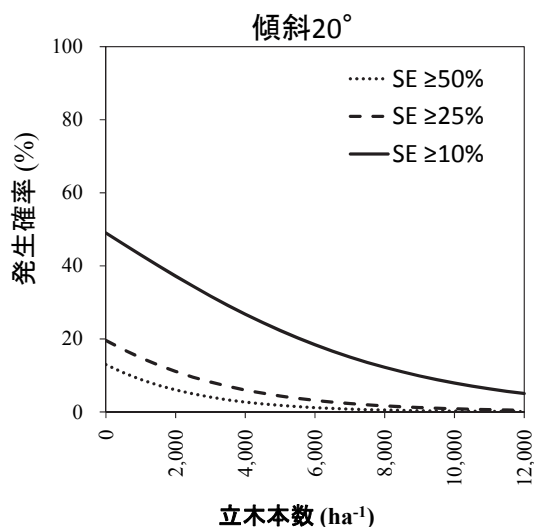


図 8-4 斜面傾斜角度 20° での
土壌侵食発生確率

表 8-4 斜面傾斜角度 20° での
立木密度別の土壌侵食発生確率

立木密度 (ha ⁻¹)	土壌侵食度別の発生確率(%)		
	SE ≥ 50%	SE ≥ 25%	SE ≥ 10%
0	12.9	19.6	49.0
500	10.7	17.1	46.0
1,000	8.9	14.8	43.0
1,500	7.3	12.8	40.1
2,000	6.0	11.1	37.2
2,500	4.9	9.5	34.4
3,000	4.0	8.2	31.7
3,500	3.3	7.0	29.2
4,000	2.7	6.0	26.8
4,500	2.2	5.1	24.5
5,000	1.8	4.4	22.3
5,500	1.4	3.7	20.3
6,000	1.2	3.2	18.4
6,500	1.0	2.7	16.6
7,000	0.8	2.3	15.0
7,500	0.6	1.9	13.6
8,000	0.5	1.6	12.2
8,500	0.4	1.4	11.0
9,000	0.3	1.2	9.8
9,500	0.3	1.0	8.8
10,000	0.2	0.8	7.9
10,500	0.2	0.7	7.1
11,000	0.1	0.6	6.3
11,500	0.1	0.5	5.6
12,000	0.1	0.4	5.0

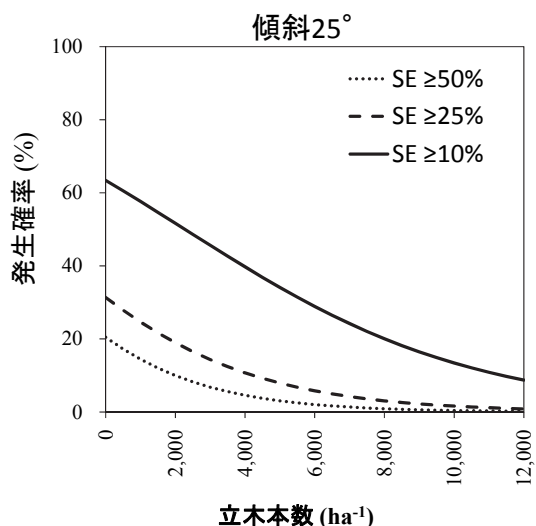


図 8-5 斜面傾斜角度 25° での
土壌侵食発生確率

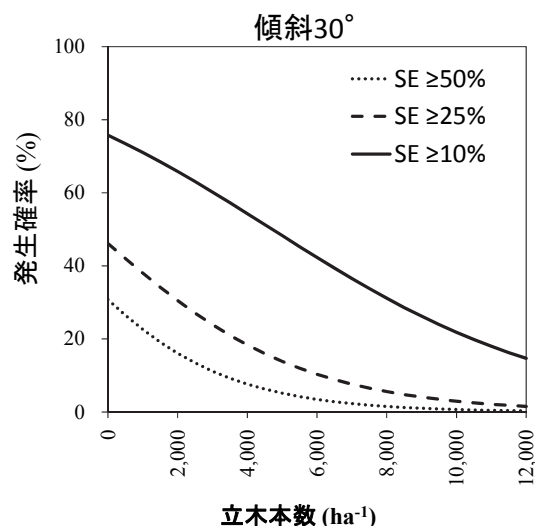


図 8-6 斜面傾斜角度 30° での
土壌侵食発生確率

表 8-5 斜面傾斜角度 25° での
立木密度別の土壌侵食発生確率

立木密度 (ha ⁻¹)	土壌侵食度別の発生確率(%)		
	SE ≥ 50%	SE ≥ 25%	SE ≥ 10%
0	20.4	31.3	63.4
500	17.2	27.8	60.5
1,000	14.4	24.6	57.6
1,500	12.0	21.6	54.7
2,000	10.0	18.9	51.6
2,500	8.2	16.5	48.6
3,000	6.8	14.3	45.6
3,500	5.6	12.4	42.6
4,000	4.6	10.7	39.7
4,500	3.7	9.2	36.9
5,000	3.0	7.9	34.1
5,500	2.5	6.8	31.4
6,000	2.0	5.8	28.9
6,500	1.6	4.9	26.5
7,000	1.3	4.2	24.2
7,500	1.1	3.6	22.0
8,000	0.9	3.0	20.0
8,500	0.7	2.6	18.2
9,000	0.6	2.2	16.4
9,500	0.5	1.9	14.9
10,000	0.4	1.6	13.4
10,500	0.3	1.3	12.0
11,000	0.3	1.1	10.8
11,500	0.2	1.0	9.7
12,000	0.2	0.8	8.7

表 8-6 斜面傾斜角度 30° での
立木密度別の土壌侵食発生確率

立木密度 (ha ⁻¹)	土壌侵食度別の発生確率(%)		
	SE ≥ 50%	SE ≥ 25%	SE ≥ 10%
0	30.7	46.1	75.7
500	26.4	42.0	73.5
1,000	22.6	38.0	71.0
1,500	19.1	34.1	68.5
2,000	16.1	30.5	65.8
2,500	13.4	27.1	63.1
3,000	11.2	23.9	60.2
3,500	9.2	21.0	57.3
4,000	7.6	18.3	54.3
4,500	6.3	16.0	51.3
5,000	5.1	13.9	48.3
5,500	4.2	12.0	45.3
6,000	3.4	10.3	42.3
6,500	2.8	8.9	39.4
7,000	2.3	7.6	36.5
7,500	1.9	6.5	33.8
8,000	1.5	5.6	31.1
8,500	1.2	4.7	28.6
9,000	1.0	4.0	26.2
9,500	0.8	3.4	23.9
10,000	0.7	2.9	21.8
10,500	0.5	2.5	19.8
11,000	0.4	2.1	18.0
11,500	0.4	1.8	16.3
12,000	0.3	1.5	14.7

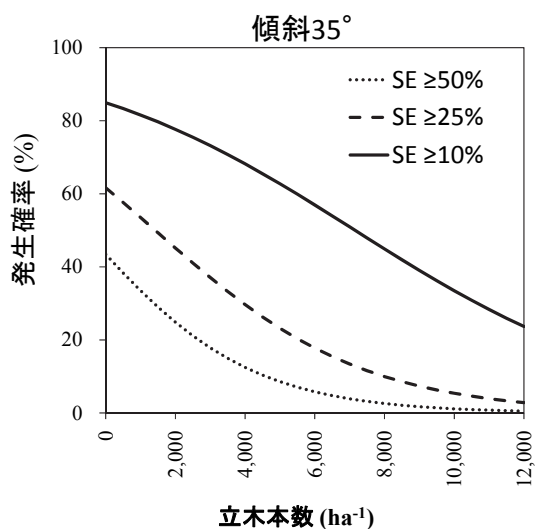


図 8-7 斜面傾斜角度 35° での
土壌侵食発生確率

表 8-7 斜面傾斜角度 35° での
立木密度別の土壌侵食発生確率

立木密度 (ha ⁻¹)	土壌侵食度別の発生確率(%)		
	SE ≥ 50%	SE ≥ 25%	SE ≥ 10%
0	43.4	61.6	84.9
500	38.3	57.6	83.3
1000	33.5	53.5	81.6
1500	29.0	49.3	79.7
2000	24.9	45.2	77.7
2500	21.1	41.1	75.5
3000	17.8	37.1	73.2
3500	15.0	33.3	70.7
4000	12.5	29.7	68.2
4500	10.4	26.3	65.5
5000	8.6	23.2	62.7
5500	7.0	20.3	59.9
6000	5.8	17.8	56.9
6500	4.7	15.4	53.9
7000	3.9	13.4	50.9
7500	3.2	11.6	47.9
8000	2.6	10.0	44.9
8500	2.1	8.6	41.9
9000	1.7	7.3	39.0
9500	1.4	6.3	36.2
10000	1.1	5.4	33.5
10500	0.9	4.6	30.8
11000	0.7	3.9	28.3
11500	0.6	3.3	25.9
12000	0.5	2.8	23.7

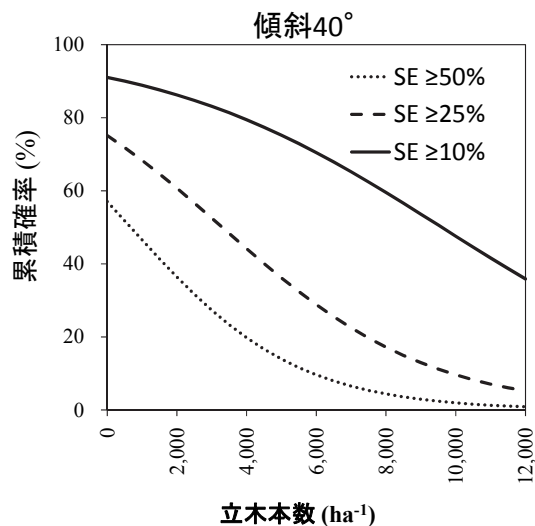


図 8-8 斜面傾斜角度 40° での
土壌侵食発生確率

表 8-8 斜面傾斜角度 40° での
立木密度別の土壌侵食発生確率

立木密度 (ha ⁻¹)	土壌侵食度別の発生確率(%)		
	SE ≥ 50%	SE ≥ 25%	SE ≥ 10%
0	57.0	75.1	91.0
500	51.8	71.8	90.0
1000	46.5	68.3	88.9
1500	41.4	64.6	87.6
2000	36.4	60.7	86.2
2500	31.7	56.7	84.7
3000	27.3	52.5	83.1
3500	23.3	48.3	81.4
4000	19.8	44.2	79.4
4500	16.6	40.1	77.4
5000	13.9	36.2	75.2
5500	11.6	32.4	72.9
6000	9.6	28.8	70.5
6500	7.9	25.5	67.9
7000	6.5	22.5	65.2
7500	5.3	19.7	62.4
8000	4.4	17.2	59.5
8500	3.6	14.9	56.6
9000	2.9	12.9	53.6
9500	2.4	11.2	50.6
10000	1.9	9.6	47.6
10500	1.6	8.3	44.6
11000	1.3	7.1	41.6
11500	1.0	6.0	38.7
12000	0.8	5.2	35.9