

平成22年 5月27日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560498

研究課題名（和文）植生情報を取り入れた降雨浸透マップの構築

研究課題名（英文）Mapping of hydraulic properties of slope based on vegetation information

研究代表者

杉井 俊夫（SUGII TOSHIO）

中部大学・工学部・教授

研究者番号：90196709

研究成果の概要（和文）：広域斜面の保水性、透水性を評価するために、室内試験データを植生や表層地質、地形情報を用いて面的に拡張を試みた。不飽和浸透特性を表す関数モデルのパラメータを推定できるようにした結果、高透水性の分布域が明らかとなり、植生分布を比較したところ、ヒノキが分布する斜面では透水性のバラつきが、スギよりも広いことが得られた。また、森林の浸透環境の重要な保水性を定量的に表す保水指標を定義し、森林の健康度などを評価することが可能であることが得られている。

研究成果の概要（英文）：The authors built the infiltration map which expresses the infiltration characteristic from the relationship between vegetation, geology and topography information. As a result, it was able to evaluate quantitatively the hydraulic properties of soil which vegetation tends to grow. The comparison of vegetation distribution showed that the permeable range of the slope which a Japanese cypress inhabits was wider than a Japanese cedar. Moreover, "Water Retentivity Index" which expresses quantitatively the important water holding property of the infiltration environment of a forest was defined. Thereby, it became clear that it is possible to evaluate the soundness of a forest.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

植生情報を利用した地図作成

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：土質力学

## 1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまで岐阜県林政部治山課とともに岐阜県内の危険斜面の抽出に植生、地質、土壌、地形情報などを取り入れた

統計モデルにより、要因の抽出と危険度を評価し、その中で、表層土質と植生の間に高い相関があることを調査結果から得てきた。

斜面崩壊は誘因となる降雨量が重要となるが、表層地盤の土質の特性も強く影響するため、一律な降雨量だけでなく、斜面の土の保水性や透水係数、土質強度をも考慮した危険度予測が必要である。また豪雨による斜面崩壊は、表層崩壊となるために少なくとも浅層での土質を把握する必要がある。特に一般の土質は不飽和土であり、豪雨や地下水位の急激な上昇によりサクションによる強度低下を伴うが、これまで広域の斜面に対して不飽和浸透特性を評価する方法がなく、経験による誘因となる降雨のみで危険度を評価してきた。こうした背景のもと、地質と植生の相関を用いて広域斜面の不飽和土の浸透特性を評価することを検討することに至った。

## 2. 研究の目的

近年、人手不足のために、森林の間伐などの手入れがされず山地はどんどん荒れていくため、緑のダムとしての機能も失われつつあり、生態系にも大きな影響を与えることとなる。山地の透水性や保水性が把握できれば、危険個所の抽出やリアルタイム危険予測、森林の保水力の変化など、防災減災対策や環境対策を考える上で非常に有力な情報となる。

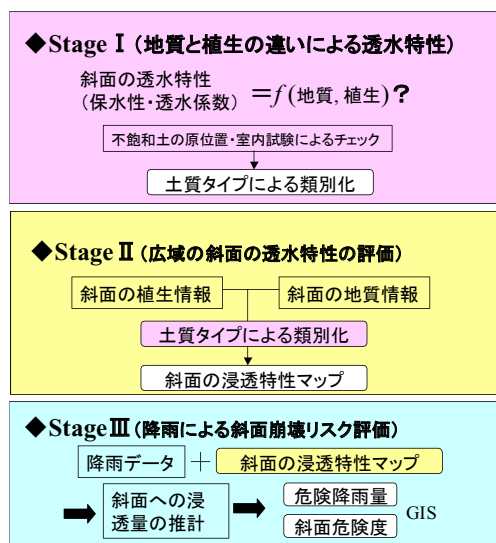


図1 本研究課題の流れ

そこで本研究は、図1のような手順で地盤情報として広域の不飽和浸透特性を間接的に推定することを目的に植生、地質、浸透特性の関係を調べ、浸透特性を表現する浸透マップの構築を目的として検討を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) マップ構築の方法

2005年より毎年開催されている岐阜県と愛知県を流れる「土岐川・庄内川源流森の健康診断」に参加し、人工林の混み具合などの植生調査や浸透能実験、室内透水試験を実施してきている。グループごとに分かれた地点でのポイントワイズな透水性・保水性試験のデータに対して、図2のように植生及び地質・地形情報を統計的に取扱うことで岐阜県東濃地方を対象とした面的に対応できるように回帰モデルを作成し単位斜面をメッシュとした浸透マップの構築を行った。

### (2) GIS上の単位斜面メッシュ

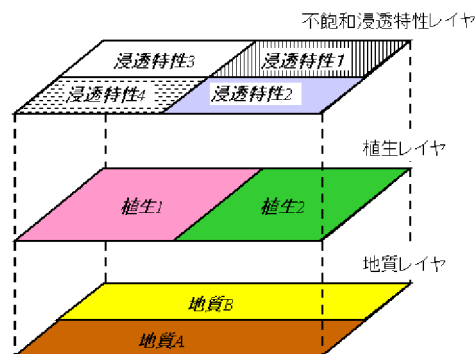


図2 GIS上の植生・地質と不飽和浸透特性

一般に斜面の安定性評価などには矩形メッシュが多く用いられているが、斜面崩壊の危険度評価を考えると斜面の尾根や谷、斜面長や傾斜角などの特性が相殺されにくいように、図3に示すような岐阜県林政部で作成された10mDEMデータを用いた単位斜面メッシュを用いて浸透マップを作成することとした。

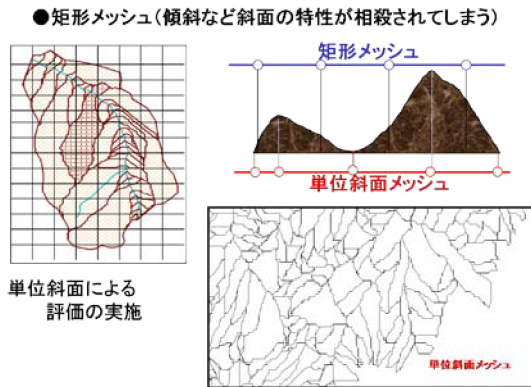


図3 矩形メッシュと単位斜面メッシュ

#### 4. 研究成果

##### (1) 樹種と透水性の関係

森の健康診断で対象としているスギ、ヒノキといった人工林において樹種の違いと透水性(飽和透水係数)および有機物含有量(強熱減量)との相関を調べた結果、図4を得ており、スギにおいては透水性のバラつきが少なく、ヒノキにおいては透水性のバラつきが多い違いが明らかとなった。この相違は、一般に言われているように、ヒノキにおいては殺菌効果が高いため、地表を覆う落葉の有機物含有量(強熱減量)同じであっても腐食の速さが遅く、土に分解されたもの未分解のものが存在して透水性にバラつきが大きいことが得られた。

##### (2) 植生の種類と地盤環境の関係

森の健康診断および中部大学恵那キャンパス周辺の調査によって得られた試料を用いて土の保水性試験を行い、土の物理的性質(土粒子密度、粒度、塑性指数)との関係を調べたところ植生種類により生息場所の土の物理特性の違いが明らかとなり、自然林ではその植生・樹種が生育しやすい地盤があることを把握することができた。

##### (3) 浸透モデルの構築

これまでに過去の崩壊事例から統計的手法により危険斜面の抽出作業の中で植生と地形・地質形状の間につよい相関があること

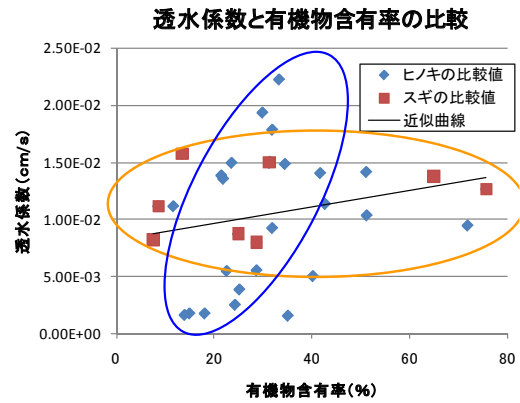


図4 透水係数と有機物含有率

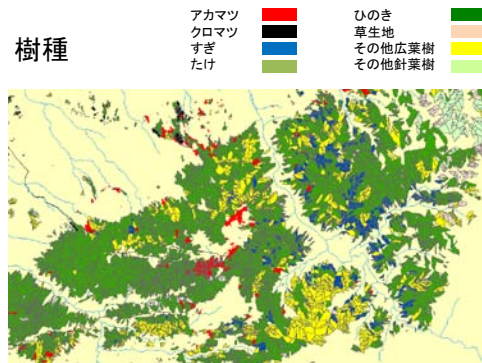


図5 樹種の分布

を得てきた。また、透水性・保水性は土の物理的性質との関連も強いことは一般的に知られている。そこで、植生情報(図5)、地質・地形情報から土の物理的性質を、土の物理的性質から透水係数、水分保持曲線を推定するモデルを構築し、ポイントワイズなデータを植生情報と地質地形情報から面的に拡張した浸透マップを構築することとした。毎年行われている森の健康診断への参加や現地調査により、植生調査、土粒子密度試験、粒度試験、液性限界塑性限界試験、透水試験、保水性試験を実施した。その結果、植生種と斜面勾配を使った土粒子密度、均等係数、50%粒径の重回帰モデル(物理特性モデル)を構築している。物理特性モデルより、水分保持曲線モデル(van Genuchtenモデル)のパラメータを推定する重回帰モデル(保水性モデル)を推定する重回帰モデル(保水性モデル)

表 1 物理特性モデル

	切片 $\beta_0$	ヒノキ $\beta_1$	アカマツ $\beta_2$	リョウブ $\beta_3$	ブナ $\beta_4$	平均勾配 $\beta_5$	重相関 係数
土粒子密度 $\rho_s$	2.680	0.12	0.26	0.06	****	*****	0.959
均等係数 $U_c$	111.94	****	-19.9	64.6	18.9	-4.3	0.966
$D_{50}$ (mm)	-1.63	-0.33	-0.33	0.43	-0.79	0.11	0.998

表 2 透水係数モデルの係数

透水係数 $k$ (cm/s)	切片 $\zeta_0$	植生(0-1 変数)		表層地質区(0-1 変数)		土壌区分(0-1 変数)	平均勾配 (m) $\zeta_5$	平均標高 (m) $\zeta_6$
		スギ $\zeta_1$		流紋岩質岩石 (溶結) $\zeta_2$	花崗岩質 岩石 $\zeta_3$	褐色森林土壌 $\zeta_4$		
	1.30E-03	-4.48E-03		1.05E-03	1.05E-03	1.87E-04	3.25E-05	3.25E-05

を、飽和透水係数は、植生、表層地質、土壌、地形情報より推定する重回帰モデル（透水係数モデル）により構築、表 2 および表 3 に三つの重回帰モデルの同定結果を示す。なお、今回は最小体積含水率  $\theta_r$  を 0 としている。

(物理特性モデル)

$$\rho_s = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$$

$$U_c = \beta_0 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5$$

$$D_{50} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5$$

(透水係数モデル)

$$k_s = \zeta_0 + \zeta_1 x_1 + \zeta_2 x_2 + \zeta_3 x_3 + \zeta_4 x_4 + \zeta_5 x_5 + \zeta_6 x_6$$

(保水性モデル)

van Genuchten model の

パラメータを推定するモデル

$$n = 7.322 \times 10^{-4} U_c^2 - 0.016 U_c + 2$$

$$\theta_s = 0.2769 D_{50}^{-0.1827}$$

$$\alpha = 0.033 (D_{50} U_c)^{-1.84}$$

※van Genuchten model

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[ 1 + |\alpha h|^n \right]^{-(1-1/n)}$$

#### (4) 浸透マップの構築

推定された飽和透水係数の分布を図 6 に、van Genuchten モデルのパラメータ  $n$ 、 $\alpha$  の分布を図 7, 8 に示した。透水係数も麓付近での透水性が高いことが図 6 より推察できる。パラメータ  $n$  および透水係数  $k$  の分布状況をみると隣合うメッシュの値が連続している傾向がわかり、植生や地質地形の変化にともなって変わっていること推察された。また、パラメータ  $n$  は粘土分が多くなると小さく砂分が多くなると大きくなること知られて

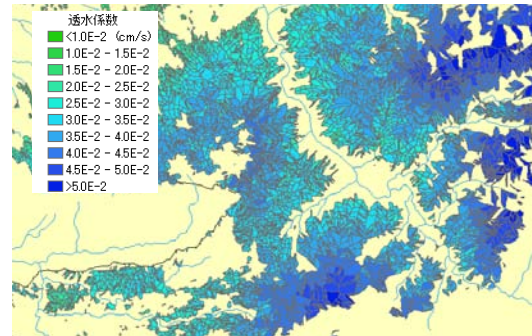


図 6 飽和透水係数  $k_s$  の分布

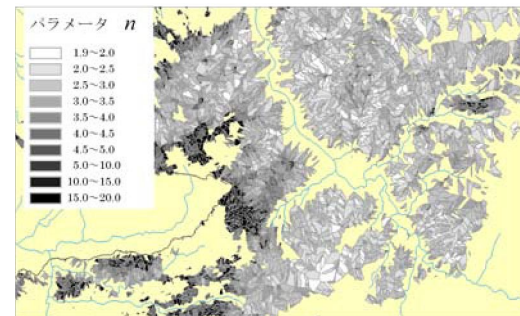


図 7 van Genuchten モデルの  $n$  の分布

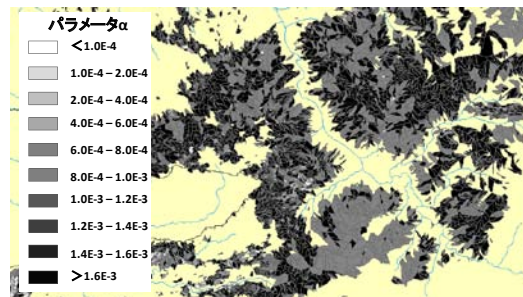


図 8 パラメータ  $\alpha$  の分布

おり、山頂よりも麓で  $n$  の値が大きく、砂分が多いものと推察された。

(5) 浸透マップの利用例

i) 植生と透水係数

植生ここでは、スギとヒノキが生息する斜面の透水係数の比較を行うために、透水係数の頻度を比較した。総数がスギとヒノキと異なるため、縦座標にはスギ斜面数の構成比、ヒノキ斜面数の構成比を取っている (図 9)。

スギの透水係数はヒノキに比べて透水係数の範囲が狭く、逆にヒノキは、透水係数の範囲が広いことがわかる。この傾向は、別途、植生と透水試験、強熱減量試験を直接比較した結果でも同様な結果が得られている。ヒノキはスギに比べて殺菌効果を有するため、落葉しても腐食速度が遅いため、表層土の透水係数のバラつきが大きいことが推察され、浸透マップでもその傾向が得られており、良好な結果が得られているものと判断された。

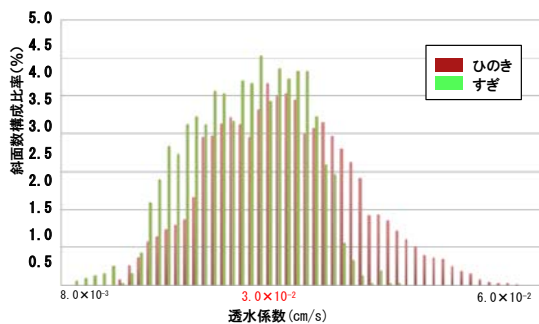


図 9 浸透マップによるスギとヒノキの透水係数の分布

ii) 植生と保水性

保水性の高さ (量) を評価するために、図 10 のように水分保持曲線下の面積を土の保水指数 (WR : Water Retentivity Index) と定義し、面積の大きさを保水性の高さを算出し、その分布を図 11 に示している。浸透マップで得られる情報で植生との関係を調べためにスギとヒノキ、アカマツの斜面と土の保水指数で比較したヒストグラムを図 12 に示した。スギは保水性が高く、アカマツは保水性の低いところに分布している傾向が得られていることがわかった。

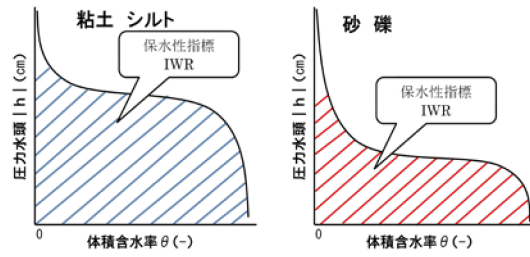


図 10 水分特性曲線と保水性指標

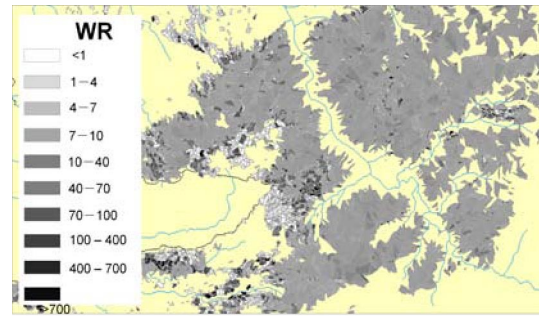


図 11 保水指数 WR の分布

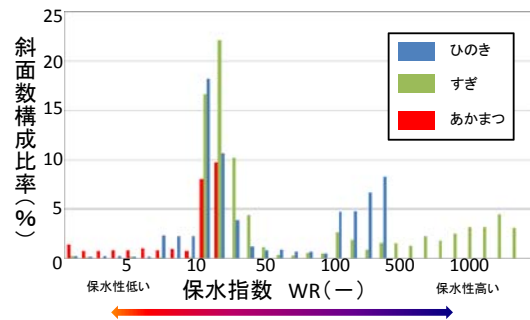


図 12 ヒノキ、スギ、アカマツの保水指標の分布

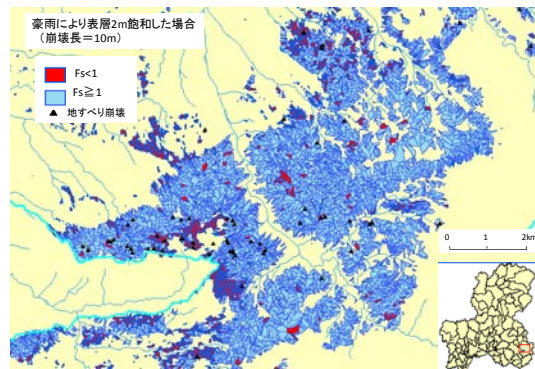


図 13 豪雨により表層飽和 2m の場合の安定性

iv) 斜面崩壊危険度評価への適用

図 13 のように広域を対象とした斜面崩壊危険度を評価するための簡便な力学モデルを提案しており、本力学モデルに浸透マップをリンクさせることで、これまで統計手法に

頼ってきた GIS を使った危険度評価を既往外力以上に対しても評価できること、さらにリアルタイムに危険度評価に繋げることが期待された。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 18 件)

- 1) 杉井俊夫・南基泰・上野薫・松原祥平：植生及び地質・地形からみた森林の浸透環境 - 森の健康診断から浸透マップの構築, 地盤工学会誌, Vol.58, No.9, 2010, 査読有,4p.,印刷中.
- 2) 杉井俊夫・山田公夫・浅野憲雄：力学的アプローチによる豪雨および地震時における山地斜面の安定性評価, 東海豪雨から10年—都市部と山間部における豪雨災害の教訓—, 自然災害科学 J. JSNDS 29-1, 2010, 査読無 8p., 印刷中.
- 3) 杉井俊夫: ロジックモデルによる地域特性を考慮した山地危険度評価, 降雨と地震に対する斜面崩壊機構と安定性評価に関するシンポジウム論文集, , 2009, 査読有, pp.379-384.
- 4) Sugii, T., Uno, M., and Mori, Y. : Development of a field measurement of unsaturated hydraulic conductivity in slopes, Proc.of 3rd Asian Conference on Unsaturated soil, 2007. 査読有, pp.519-524,
- 5) 杉井俊夫・竹下祐二：不飽和地盤の浸透特性の評価方法, 土と基礎, Vol.55, 2007, 査読有, pp.20-22.
- 6) 竹下祐二・諏訪隼人・森井俊広：不飽和砂質土地盤におけるヒステリシス現象を考慮した浸透特性値の原位置試験方法, 土木学会論文集C, Vol.63., 2007, 査読有, pp.1153-1162
- 7) 南基泰, 2005-2007 「人工林の混み具合調査」報告, 土岐川・庄内川源流森の健康診断 2007 報告書, 2007, 査読無, pp.8-10.
- 8) 上野薫, 北村紗也桂, 脇田光将, 南基泰, 寺井久慈, 服部重昭, 2007年度 (第三回) 「緑のダム効果実験」報告, 土岐川・庄内川源流森の健康診断2007報告書, 2007, 査読無, pp.11-23.

[学会発表] (計 36 件)

- 1) 杉井俊夫・南基泰・上野薫・松原祥平：植生及び地形・地質情報を考慮した浸透マップの構築, 地盤工学会 第45回平成22年度地盤工学研究発表会, 2010年8月18日, (愛媛大学).
- 2) 杉井俊夫・南基泰・上野薫・松原祥平：GIS を

用いた斜面の浸透マップの構築と利用, 土木学会年次学術講演会発表概要集, 印刷中,2010年9月2日, (北海道大学) .

- 3) 杉井俊夫・黒川裕史・井上勇治：植生と土質との相関性に関する一検討,土木学会第63回年次学術講演会概要集, pp.211-212, 2008年9月10日, (東北大学)
- 4) 脇田光将・北村紗也桂・上野薫・南基泰・寺井久慈・服部重昭・土岐川・庄内川源流域の人工林の浸透能と植生および有機物の関係, 第50回土壌物理学学会講演要旨集, pp.68-69, 2008年10月18日, (三重大学).

[図書] (計 6 件)

- 1) 龍岡文夫・善功企・沖村孝・宇野尚雄・末岡徹 他 49 名 杉井俊夫 10 番目、地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために—地盤工学からの提言—, 地盤工学会, pp.153-4, pp.157-166, 2009.
- 2) 杉井俊夫・竹下祐二 他 22 名: 設計用地盤定数の決め方 —土質編— (第 4 章 土の透水特性と設計用地盤定数), 地盤工学会, pp.174-180, 2007.
- 3) 上野 薫 他: 農地環境工学, 文永堂出版, 344p, 2008.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

杉井 俊夫 (SUGII TOSHIO)  
中部大学・工学部・教授  
研究者番号：90196709

### (2)研究分担者

竹下 祐二 (TAKESHITA YUJI)  
岡山大学・大学院環境学研究科・教授  
研究者番号：90188178

南 基泰 (MINAMI MOTOYASU)  
中部大学・応用生物学部・准教授  
研究者番号：90340207

上野 薫 (UENO KAORU)  
中部大学・応用生物学部・講師  
研究者番号：30373070

### (3)連携研究者

なし