

「森林総合研究所 第1期中期計画成果1」

森林の水・土・空気をまもる

- 森林の水土・環境保全機能に関する研究成果集 2005 -



「森林総合研究所 第1期中期計画成果1」

森林の水・土・空気をまもる

独立行政法人 森林総合研究所

平成18年1月31日



独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

はじめに

森林総合研究所では、平成13年4月1日の独立行政法人化に伴い、農林水産大臣が示した中期目標に基づいて、平成17年度までの5カ年間にわたる中期計画を策定して研究を推進してきました。この中期計画では、科学的知識の集積を図りながら、行政や社会的ニーズに対応した分野横断的・総合的研究を一層推進するため、ア～サの11の重点研究分野を設定しました。

このうち、「イ 森林の国土保全、水源かん養、生活環境保全機能の高度発揮に関する研究」分野では、基盤である森林土壌資源の諸機能の解明、林地崩壊や土石流の発生予測モデルの開発、森林施業が水資源かん養機能に及ぼす影響の評価、海岸林の健全化を図るための密度管理技術の開発、治山施設が溪畔域に及ぼす影響の解明、雪崩の発生危険度評価手法の高度化等に関する研究を行うため、21の実行課題を設定し、基礎から応用技術開発に至る研究を推進してきました。

ここでは、本中期計画期間中に「イ 森林の国土保全、水源かん養、生活環境保全機能の高度発揮に関する研究」分野で行った21の実行課題について、その主要な研究成果をとりまとめました。本成果集が行政担当者を含めて広く社会的に有効に活用されることを期待しています。

平成18年1月

独立行政法人 森林総合研究所

研究管理官 加藤正樹

編集委員会

編集委員長

研究管理官 加藤正樹

編集委員

立地環境研究領域長 高橋正通

水土保持研究領域長 竹内美次

気象環境研究領域長 河合英二

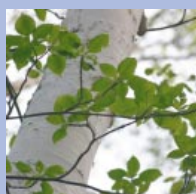
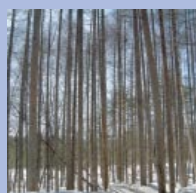
上席研究官 三森利昭

森林の水・土・空気をまもる

森林総合研究所 第1期中期計画成果1

目次

はじめに	1
イア1a 森林土壌中の水・物質移動量の測定手法の開発	4
イア1b 土壌資源インベントリー構築と土壌炭素量評価	6
イア2a 樹木の養水分の利用様式と根系の生育特性	8
イア2b 根と共生する微生物を三宅島噴火災害地の緑化技術に生かす	10
イイ1a 間伐は表層崩壊防止に役立っているか	12
イイ1b 山地の地形から表層土厚さを推定する	14
イイ1c いつ、どこが崩れるかをリアルタイムで予測する	16
イイ2a 崩壊土砂の到達範囲を予測する	18
イイ2b 崩壊土砂の流出条件と危険流域を推定する	20
イイ2c 地すべり土塊はどのように移動し、変形するのか	22
イイ2d 大規模な地すべりをおこす地下水をとらえる	24
イイ3a 日本・カンボジア国における水流出モニタリング	26
イイ3b その水はどこから来たか？	28
イイ3c 森林施業が水資源かん養機能に及ぼす影響評価	30
イイ4a 森林流域からの窒素流出の広域評価	32
イイ4b 間伐による森林小流域からの窒素流出量の変化	34
イイ5a クロマツ海岸林の本数調整指針	36
イイ5b 森林微気象と二酸化炭素フラックス	38
イイ5c 積雪地域の森林流域で環境保全機能を解明する	40
イイ6a 溪畔林の保全・造成と機能評価手法の開発	42
イイ6b 表層雪崩発生予測のための積雪安定度の推定	46



中期目標 平成13～17年度

イ 森林の国土保全、水資源かん養、生活環境保全機能の高度発揮に関する研究

(ア) 森林土壌資源の諸機能の解明と持続的発揮への適用

- a 土壌水分環境の斜面系列における変動及び風化に伴う主要元素の動態を解明する。
- b 既存情報による土壌資源インベントリーと主要土壌の機能分類手法開発に取り組む。
- c 斜面系列における土壌養分環境の変動と樹木応答を解明する。
- d 共生微生物の多重感染技術を開発するとともに、共生系における主要養分の動態を解明する。

(イ) 森林の持つ国土保全、水資源かん養、生活環境保全機能の解明と評価

- a ヒノキ人工林施業による崩壊防止機能を解明する。
- b 崩壊・流動化実験による崩壊・土石流について、より精度を向上させた発生予測数値モデルを開発する。
- c 第三紀層地すべりの発生に及ぼす深層地下水の地盤内分布を把握するとともに、水理学的な影響を解析する。
- d 森林における水収支を類型化するとともに、森林施業が水資源かん養機能に及ぼす影響を解明する。
- e 森林における水移動調査手法を開発する
- f 森林の水質形成に関わる窒素等の動態予測手法の開発に取り組む。
- g 海岸林の維持管理技術を開発する。
- h 森林 - 大気間の熱・物質輸送過程を解明する。
- i 積雪地域の様々な利用形態の森林における環境保全機能に關与する環境特性を解明する。
- j 治山施設が溪畔域に及ぼす影響を解明する。
- k 湿雪なだれの発生条件を解析し、なだれの発生危険度を評価する手法を開発する。

イア1a 森林土壌中の水・物質移動量の測定手法の開発

背景と目的

森林に降った雨水は、森林土壌において一時的に貯留され、土壌の構成物質と反応してその水質が変化し、植物に水と水に溶存した養分を供給し、渓流水へと流出する。このように森林土壌は植物の生産を支えるだけではなく、森林から流出する水の量や質を支配する役割も果たしている。森林土壌が水・溶存物質の保持や流出に果たす役割を定量的に評価するためには、森林土壌中における水の移動量を把握しなければならない。しかし、自然状態の土壌水の移動量の測定は難しい。その理由は、通常、土壌水は地下水や河川水のように正圧の状態が存在、移動しているのではなく、土壌孔隙による毛管吸引力を受けた負圧の状態が存在、移動しているためである。ここでは、負圧の状態の土壌水の移動量を計測するために新たに開発した手法を用いて、実際に森林斜面に設置して計測した土壌中の水・物質の移動量の結果を示す。

成果

茨城県東茨城郡城里町の茨城森林管理署管内北山国有林に設置した桂試験地において、斜面上部、中部、下部の3地点でポーラスプレート・テンションライシメータ法（以下、PPTL法と呼ぶ）を用いて深さ30cmと90cmにおける土壌水の移動量を測定した。PPTL法は、ポーラスプレートの吸引圧をその横の自然土壌の土壌水分の観測値にもとづいて週1回、手動で調整することによって下向き土壌水の移動量を測定する手法である（図1）。また、採取した土壌水の無機溶存物質濃度から、土壌中における2004年の無機溶存物質の下向きの移動量を算出した。

PPTL法で測定した深さ90cmの土壌水の年移動量は斜面上部、中部、下部でそれぞれ303、823、602mmであり、斜面中部、下部では渓流水の年流

出量（831mm）の7割ないしは同程度の値が得られた（図2）。このことから、PPTL法による土壌水の移動量の測定は概ね正しい結果を提示していると判断できる。

そこで、これらの値を用いて深さ90cmにおけるSi（ケイ素）とCa（カルシウム）の1年間の移動量を算出した結果、斜面位置間の差がSiは小さい（図3左）のに対し、Caは大きく（図3右）。また、各斜面位置の移動量の平均値が渓流からの流出量と類似した値を示すことが明らかになった。これらのことは、土壌中における無機溶存物質の生成・消費に関わるプロセスが斜面位置によって異なること、また斜面各部における無機溶存成分の移動量が平均化される形で渓流から流出していることを示している。

成果の利活用

土壌中の水・物質移動量の定量的な評価により、酸性降水物の負荷や施業等のインパクトによる水質保全機

能の変動の解明に活用される。

主な発表文献

- 釣田竜也・吉永秀一郎・阿部俊夫 2005 ポーラスプレート・テンションライシメータ法による土壌水の年移動量の測定、土壌の物理性 101: 51-56
 釣田竜也 2005 森林土壌中の水の移動量をはかる、森林科学 44:43
 担当：釣田竜也・吉永秀一郎・小林政広（立地環境・土壌特性研究室）

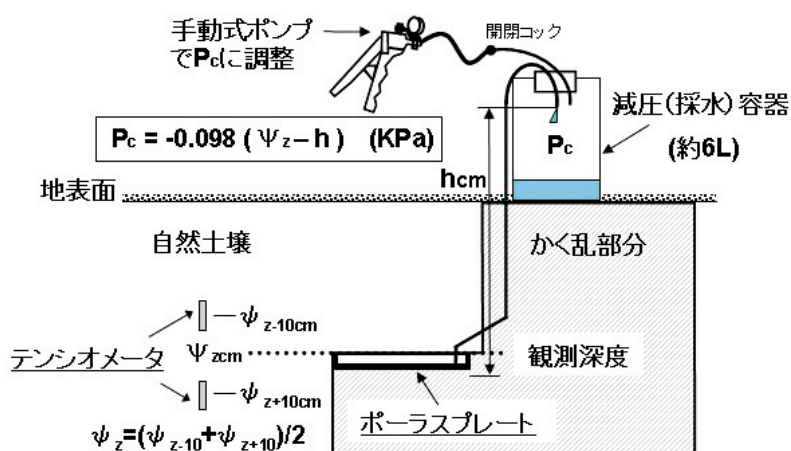


図1 ポーラスプレート・テンションライシメータ法 (PPTL法) の模式図

ポーラスプレート (直径27cm) の吸引圧をその横の自然土壌の土壌水分 (マトリックポテンシャル; Ψ_z) から算出される値に毎週1回、手動で調整しながら採水することにより下向きの土壤水の移動量を測定する。

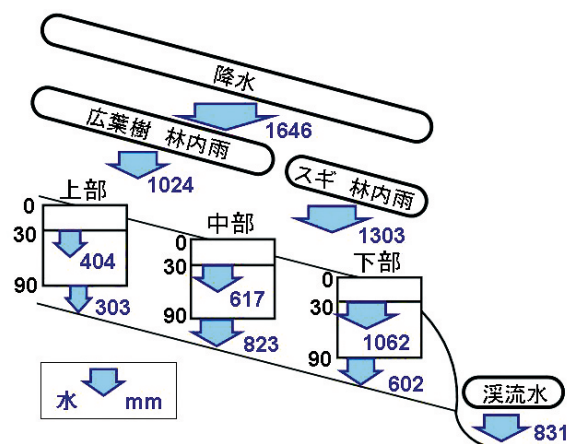


図2 PPTL法で明らかにした森林斜面における2004年の水のフロー

斜面中部と下部では渓流水の年流出量の7割ないしは同程度の土壌水の年移動量が得られた。

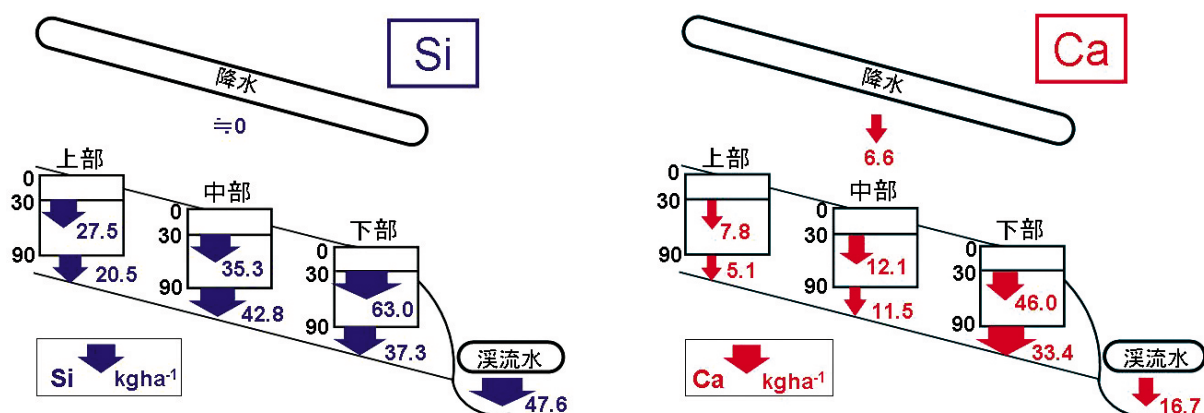


図3 PPTL法で明らかにした森林斜面における2004年のSiおよびCaのフロー

Siは斜面位置間の差が小さいのに対し、Caは大きいこと、また、各斜面位置の移動量の平均値が渓流からの流出量と類似した値を示すことがわかる。

イア1b 土壌資源インベントリー構築と土壌炭素量評価

背景と目的

土壌は森林を育て、維持していくために重要である。また、地球温暖化を引き起こす二酸化炭素を土壌炭素として蓄えるなど様々な働きを持つ貴重な資源である。土壌資源をより効果的に利用していくためには、土壌に関する様々なデータを集約し土壌資源インベントリーを整備することが必要である。例えば、日本全体の森林土壌の化学特性を比較検討するためには、土壌資源インベントリーが不可欠である。また、森林の落葉、落枝などの有機物が土壌に蓄積されていく過程を解明するためには、森林の有機物の成分を迅速に分析する手法開発が必要である。

ここでは、土壌資源インベントリーの構築とそれを用いた土壌pHの頻度分布、および近赤外分光分析法を用いた迅速な森林有機物分析方法の開発についての研究成果を示す。

成果

日本全国の森林土壌は、国、都道府県、大学などによって長年にわたって調査研究されており、その結果は、国有林野土壌調査報告書、民有林適地適木調査報告書、学術雑誌などにまとめられている。これらの文献から土壌資源情報を収集し、整理した上で、1万点を超える土壌資源データのインベントリーを構築した（図-1）。これを用いて全国の森林土壌のpHを集計してみると、pHの範囲は3.0～9.1で中央値はpH5.1であった（図-2）。この値は地球全体の集計値の中央値pH6.3に比べて低いことがわかり、日本の森林土壌が酸性であることを明らかにした。今後は、

この土壌資源インベントリーをデータベースとして、必要な情報を取り出せるシステムを作っていく必要がある。

堆積有機物の炭素が土壌中に蓄積される機構を解明する一環として、国内各地の森林の生葉・落葉・堆積有機物のリグニン、ホロセルロースなどの化学成分を測定し、それらの有機組成分析への近赤外分光分析法（図-3）の適用を研究した。その結果、分光測定値と化学分析値との間に高い相関を見出し（図-4）、近赤外分光分析法によって迅速な測定が可能であることを明らかにした。

成果の利活用

土壌資源インベントリーは、日本全国の森林土壌炭素蓄積量の推定にも利用され、森林の炭素吸収量の評価に重要な役割を果たしている。また、近赤外分光分

析を利用した土壌有機物の迅速な分析手法は、土壌有機物の分解、蓄積過程を解析する上でたいへん有用である。

主な発表文献

森貞和仁 2003 日本の森林土壌における土壌酸性の分布と特徴．ペドロジスト47: 106-111

森貞和仁・小野賢二・鹿又秀聡・今矢明宏 2004 森林土壌による炭素蓄積分布図の作成．森林総研 平成15年度研究成果選集: 28-29

Ono K. Hiraide M., And amariM. 2003 Determination of lignin, Holocellulose, and organic solvent extractives in fresh leaf, litterfall, and organic material on forest floor using near infrared reflectance spectroscopy. J. For. Res. 8: 191-198

担当：森貞和仁（立地環境・温暖化物質チーム長）、荒木誠・松浦陽次郎・石塚成宏・小野賢二・伊藤江利子（立地環境・土壌資源研）、酒井寿夫（北海道・植物土壌系研究グループ）、大貫靖浩・今矢明宏（九州・生態系研究グループ）

断面情報表示

検索条件に合う断面情報は404件ありました。

検索結果に対する処理	ダウンロード	断面検索
選択レコードに対する処理	ダウンロード	断面検索

※選択したレコードは、修正・削除ができます。

断面番号	Profile_code	土壌型	層位	土壌型力	土壌型群力	調査主体	断面地	番号	入力品目情報
13953	山梨県中部山地75	Elm	BD	Bl	Bl	山梨県	中部山地	75	安藤俊次1982 山梨県林業試験場報告10
13954	山梨県中部山地76	Elm	BD	Bl	Bl	山梨県	中部山地	76	安藤俊次1982 山梨県林業試験場報告10
13955	山梨県中部山地77	Elm	BE	Bl	Bl	山梨県	中部山地	77	安藤俊次1982 山梨県林業試験場報告10
13956	山梨県中部山地78	Elm	BE	Bl	Bl	山梨県	中部山地	78	安藤俊次1982 山梨県林業試験場報告10
13957	山梨県中部山地79	BC	BC	B,d	B	山梨県	中部山地	79	安藤俊次1982 山梨県林業試験場報告10
13958	山梨県中部山地80	BD	BD,d	B,m	B	山梨県	中部山地	80	安藤俊次1982 山梨県林業試験場報告10
13959	山梨県中部山地81	BD	BD	B,m	B	山梨県	中部山地	81	安藤俊次1982 山梨県林業試験場報告10

層位情報表示

検索条件に合う層位情報は53件ありました。

検索結果に対する処理	ダウンロード	断面検索
選択レコードに対する処理	ダウンロード	断面検索

※選択したレコードは、修正・削除ができます。

断面番号	層位識別記号	断面番号	profile_code	層位名	層区分	上端	下端	層厚	層厚	土色	土色	種類	腐植	石礫大	石礫中	石礫小
27281	山梨県中部山地72A0	13950	山梨県中部山地72	A0	O	-2	0	2								
27282	山梨県中部山地72A1	13950	山梨県中部山地72	A1	A	0	15	15								
27283	山梨県中部山地72A2	13950	山梨県中部山地72	A2	A	15	35	20								
27284	山梨県中部山地72A3	13950	山梨県中部山地72	A3	A	35	55	20								
27285	山梨県中部山地72B1	13950	山梨県中部山地72	B1	B	55	68	13								
27286	山梨県中部山地72B2	13950	山梨県中部山地72	B2	B	68										
27287	山梨県中部山地73A0	13951	山梨県中部山地73	A0	O	-7	0	7								
27288	山梨県中部山地73A1	13951	山梨県中部山地73	A1	A	0	10	10								
27289	山梨県中部山地73A2	13951	山梨県中部山地73	A2	A	10	24	14								
27290	山梨県中部山地73A3	13951	山梨県中部山地73	A3	A	24	52	28								

土壌断面情報表示の一例

土壌断面の層位情報表示の一例

図 - 1 森林土壌資源インベントリーの一部(例示)

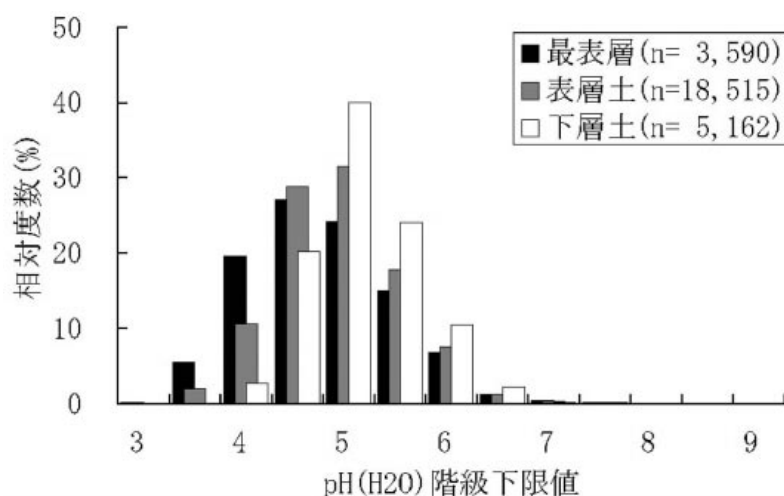


図 - 2 日本全国の森林土壌 pH の出現頻度

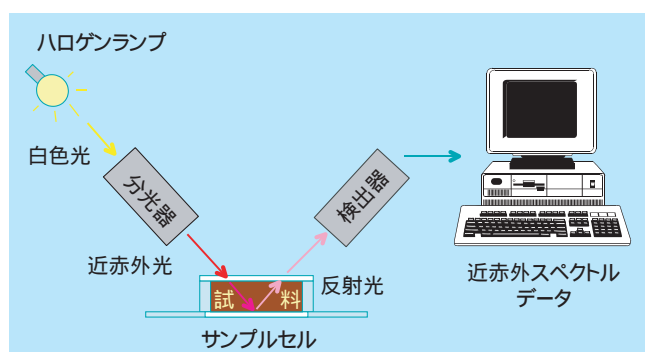


図 - 3 近赤外分光分析装置の概要

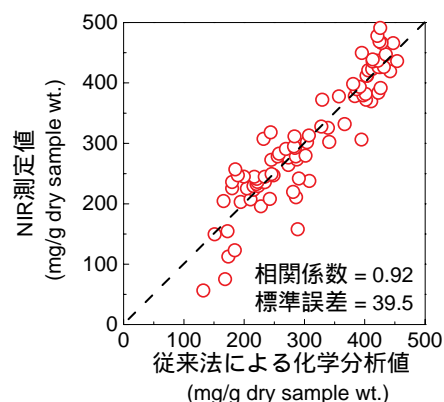


図 - 4 従来法と近赤外分光分析法による分析値の比較

イア2a 樹木の養水分の利用様式と根系の生育特性

背景と目的

土壌の養分・水分条件は斜面系列によって異なり、斜面上部では養分も水分も乏しく、下部では両者に富んでいる。このため樹木成長に対する養分と水分の影響を区別して解析することは野外においては困難である。本課題では、養分と水分の植物成長に対する機能を明らかにするため、養分と水分をコントロールし、苗木の地上部、地下部の成長を調べ、養水分変動に伴う樹木の養分吸収・利用や細根の伸長様式の変化を検討した。これにより土壌条件と樹木の地上部、地下部の発達様式、養分利用特性に関するデータセットを得るとともに、斜面系列における物質循環プロセスの違いを定量的に比較した。

成果

スギとヒノキの土壌窒素に対する応答を比較した結果、土壌への窒素供給量の増加に伴って、スギでは個体乾重、樹高、根元直径が増加した（図1左）。一方、ヒノキではこれらの有意な増加はみられず、ヒノキの乾物生産は窒素条件の影響を受けにくかった。また、生産性の指標のひとつである葉の窒素含有率は、土壌窒素の増加によってスギ、ヒノキともに増加したが、増加割合はスギの方が大きかった（図1右）。土壌乾燥に対して、ヒノキは土壌水分が低下し始めるとすみやかに蒸散速度を低下させて水利用効率（蒸散量に対する乾物生長量の割合）を高めた（図2）。スギはヒノキより土壌水分が低下しないと蒸散速度を低下させなかった。以上のことから、スギは窒素濃度の変化に対する感受性は高いが、土壌乾燥に対する反応は鈍く、水を浪費しやすい性質をもつのに対し、ヒノキは窒素に対する感受性は低い、土壌乾燥に対しては水消費

を抑え生育を維持する能力をもつことが示された。この結果から、斜面におけるスギとヒノキの植え分けが科学的に合理性があることを確認した。

野外のスギ林におけるデジタルカメラを用いた根系の画像記録・解析（ミニリゾトロン法）から、細根の成長量および枯死脱落量は季節変動を示すことを明らかにした（図3）。夏期における1日あたりの細根の成長および枯死脱落量はそれぞれ 19 ± 6 および $13 \pm 4 \text{ kg ha}^{-1}$ 、冬期にはそれぞれ 2 ± 1 および $3 \pm 1 \text{ kg ha}^{-1}$ であった（平均±標準誤差）。また1年間の細根の成長および枯死脱落量は、それぞれ 3.5 ± 0.8 および $2.9 \pm 0.5 \text{ kg ha}^{-1}$ であった。すなわち、この林分で新たに成長した細根のほとんどは枯死脱落し、細根の現存量の年変化はほとんどないことを明らかにした。

成果の利活用

温暖化や窒素負荷量増加など環境変化にともなう森林の動態を予測するモデルに不可欠な、樹木生育と土

壌の養水分との関係の情報が得られた。また、細根の動態の観測は日本ではじめて行われた研究である。

主な発表文献

Nagakura et al. 2004 Growth and transpiration of Japanese cedar and Hinoki cypress seedling in response to soil water content. *Tree Physiology*, 24: 1203-1208

Noguchi et al. 2004 Estimation of the fine root biomass in a Japanese cedar plantation using minirhizotrons. *Journal of Forest Research*, 9:261-264

担当：高橋正通（立地環境研究領域長）、金子真司・平井敬三・稲垣昌宏・野口享太郎・長倉淳子・森下智陽（立地環境研究室）、酒井佳美（北海道・植物土壌系研究グループ）、宮本和樹（元関西・森林生態研究グループ）、重永英年（九州・森林生態系研究グループ）、赤間亮夫（林野庁）

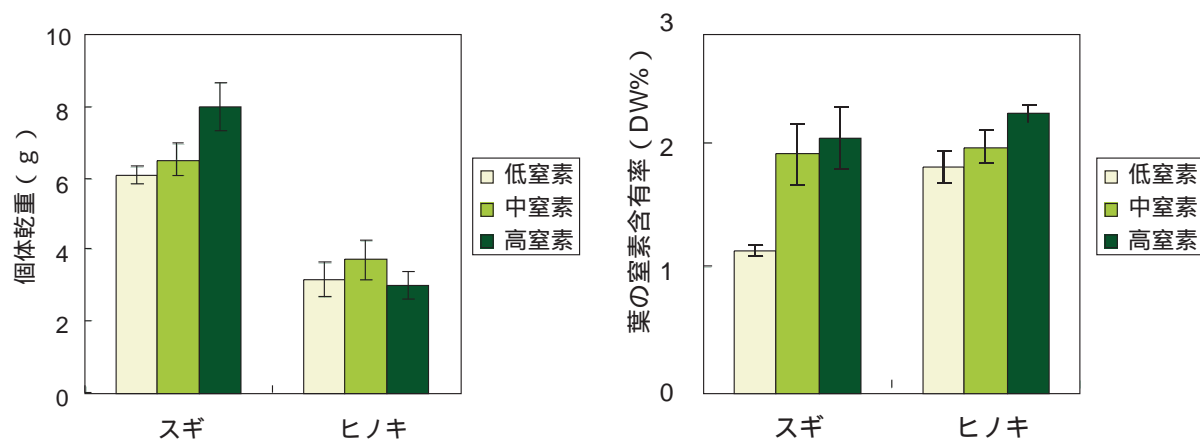


図1 土壌窒素レベルとスギとヒノキ苗木の個体重量および葉の窒素含有率
スギの方がヒノキより窒素レベルの変化に敏感に反応する。

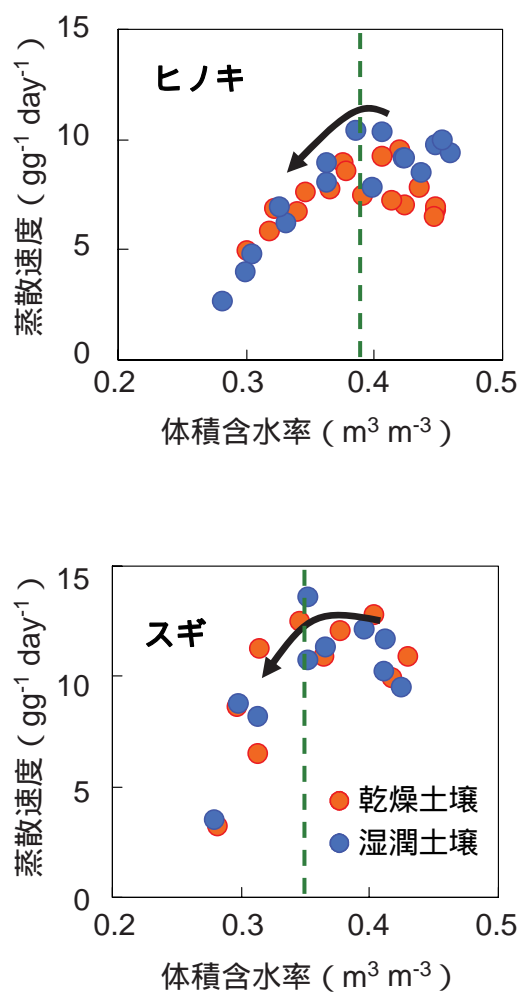


図2 土壌水分と蒸散との関係
ヒノキはスギに比べて土壌乾燥が弱い段階から蒸散速度を低下させる。

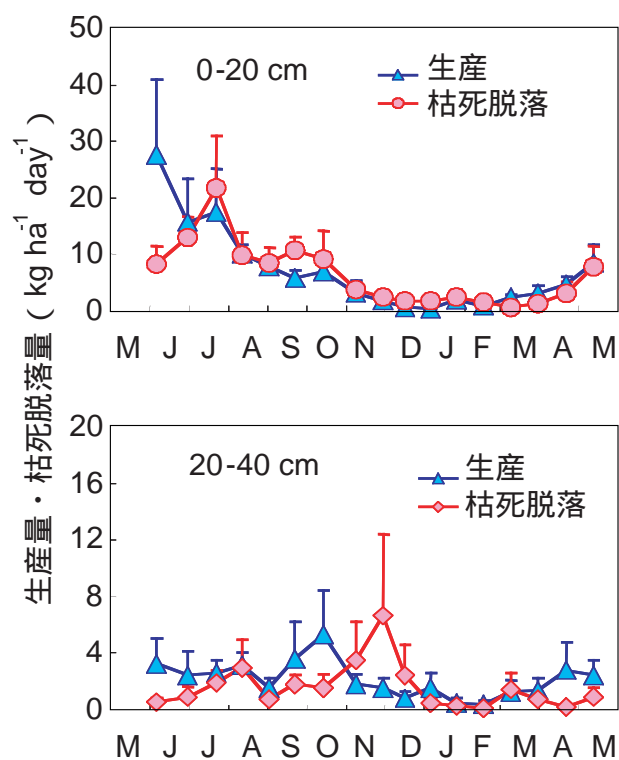


図3 細根の生産量と枯死・脱落量の季節変化
表層(0-20 cm、図上)のスギ細根は夏季に成長が増加し、冬季に低下する。

イア2b 根と共生する微生物を三宅島噴火災害地の緑化技術に生かす

背景と目的

多様な森林機能を持続的に発揮させるためには、生態系を重視した適切な森林管理が要求される。この中で土壌資源の効率的な利用は、これに応える中核的な課題であり、森林土壌の諸機能の解明と持続的発揮を図るよう（中期目標：イア）要請されている。ここでは、土壌の重要な生物資源として根系と共生し生物肥料として知られる共生微生物が森林の生態機能に大きな役割を果たしていると考えられることから、これら機能の解明と利用技術の一層の高度化を図る。

成果

根系と共生する菌根菌（外生菌根菌、アーバスキュラー菌根菌（＝AM菌））、非マメ科樹木にみる根粒菌及び根圏生息菌を対象とし、これら共生菌の機能について、特に宿主の根に複数の共生菌が同時に生息する仕組みを明らかにした。その組み合わせ例として、4者共生（宿主×AM菌×根粒菌×根圏細菌）では、窒素固定能を確保した宿主と菌根菌や間接共生的な細菌を組み合わせることによって宿主の成長や養分吸収

力が大幅に改善した。次に、共生系形成技術の利用を図るため、三宅島の大規模噴火災害地における緑化に取り組み、降灰地に優占的に増殖した菌根菌を選抜し、島内で増殖することで、郷土の植物だけでなく郷土の共生菌を組み合わせることで在来の島内植生の復活を目指し、また厚く堆積した降灰土を活用したマルチバンカー工法などを提案し、土壌浸食を軽減する工法と合わせた緑化技術を提供した。

成果の利活用

根系と共生する菌根菌や根粒菌の複数組み合わせが宿主の生育環境を改善することを明らかにし、またこの過程で共生系の取り扱い技術を改良した。三宅島噴火災害地の緑化（東京都受託研究）及び崩壊地の緑化（共同研究）に取り組み、共生系の活用技術の実用化を図った。緊急を要する技術として、生物多様性条約

にみるように、帰化しやすい牧草による緑化から郷土の植物を用いた緑の復元へ転換が迫られている。共生系の形成は、実用的にも自然の複雑系において十分に植物の定着を促すことができるもので、かつ土壌生態系の保全に有効と考えられ、今後の緑化技術への活用が期待される。

主な発表文献

Okabe, T. 2001 Dynamics of ectomycorrhizas and actinorhizal associations, In: Diversity and interaction in a temperate forest community. Ecological studies vol. 158. Eds. Nakashizuka and Matsumoto, Springer-Verlag, Tokyo, 273-284

Yamanaka, T. et al. 2003 Tripartite symbiosis in alder: effects of Frankia and *Alpova dipophloeus* on the growth, nitrogen fixation and mineral acquisition of *Alnus tenuifolia*. Plant and Soil, 254:179-186

Yamanaka, T. et al. 2005 Growth, nitrogen fixation and mineral acquisition of *Alnus sieboldiana* after inoculation of Frankia together with *Gigaspora margarita* and *Pseudomonas putida*. Journal of Forest Research, 10:21-26

特許

岡部宏秋ほか 2004 外生菌根菌の固体培養法、2003-195322

担当：岡部宏秋・赤間慶子・山中高史（森林微生物・微生物生態研究室） 赤間亮夫（元 立地環境・養分環境研究室） 森茂太（東北・育林技術研究グループ） 溝口岳男（関西・森林環境研究グループ） 明間民夫（九州・森林微生物管理研究グループ）



写真1 オオバヤシャブシとアーバスキュラー菌根菌、根粒菌、根圏細菌の組み合わせ

根粒による窒素吸収がなくては緑を作ることができない。根粒菌に菌根菌や根圏細菌が加わることで、さらに養分吸収能力が高くなる。

左図：左から、根粒菌+AM菌+シュドモナス、根粒菌+AM菌、根粒菌+シュドモナス、根粒菌のみ
右図：左から、AM菌+シュドモナス、AM菌、シュドモナス、菌添加なし

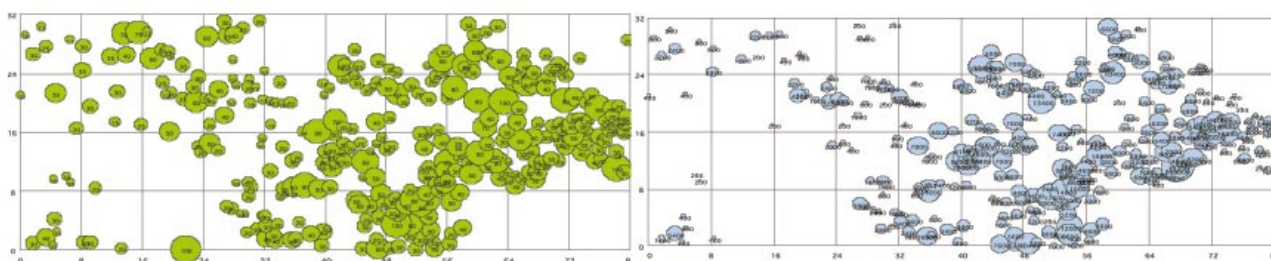


図1 ハチジョウススキ（左図）の分布とその根系土壌から得られたAM菌（右図）の分布

10cmを越える降灰層に広がるススキ（株サイズ）の根に優占的に増殖したAM菌（*Archaeospora leptotica*、孢子数）、強酸性土壌で急速にコロニーを拡大したAM菌、厳しい土壌環境でも共生することでハチジョウススキも増殖を加速したと考えられる。本菌を増殖、接種源とし他植物に感染させ苗を生産し、荒廃地に移植、翌年度の定着を確認した。



噴火によって枯損した林



緑化施工半年後

写真2 50cmの降灰土壌で行った郷土種による植生回復

比較的火山ガスの影響の少ないところで、降灰層を除き噴火前の土壌をバンカー内に露出させ、バンカー内外に播種し枯損木のチップを散布しヤシネットを被覆した。菌根菌は生残サイトからススキ株として移植、一部感染苗を植栽した。秋には株の結実とAM菌の増殖を認めた。実生のオオバヤシャブシ（根粒の発達を確認）が大きく成長した。バンカーは、集水し湛水を浸透させ、植物の成長に有効な場となった

イイ1a 間伐は表層崩壊防止に役立っているか

背景と目的

森林は根系の働きによって斜面表層部の土壌層を崩壊しないように安定させる機能を持っており、それは崩壊防止機能といわれている。この機能は、崩壊すべり面に生育する根が、土の抵抗力を補強することによって発揮されると考えられている（図1）。しかし、除伐、間伐、下刈り、枝打ちなど森林施業の実施が遅れている人工林では、立木本数密度が高いことから、それぞれの林木の樹幹は細く、その結果として根系の発達が悪いために崩壊防止機能が劣った状態にあるのではないかと懸念されている。

本研究では、スギ人工林を研究対象として、間伐を実施した林分と実施しなかった林分における林木の根系分布状態の違いと、間伐された林木の根が腐朽して減少する崩壊防止力を力学的に測定することで、間伐の実施が森林の崩壊防止機能に及ぼす影響を評価した。

成果

スギ人工林の間伐林分と非間伐林分における根系分布の違いを明らかにするため、1953年に植栽され、その後3回にわたり間伐された47年生スギ林分と、全く間伐の行われていない39年生のスギ林分を対象に、47年生の間伐林分から1本（調査木3）、39年生の非間伐林分から2本（調査木1、2）を選んで根系分布の特徴を調査した（写真1、2）。

その結果、スギ1本当たりの全根系体積は、間伐実施の有無にかかわらず樹高と胸高直径の大きさに対応した体積が生育していること、また地表面より深さ10cm間隔で根系体積を測定して深度方向の根系体積分布について調査木1、2と調査木3とを比較したところ、明確な相違がないことが明らかとなった。さらに、太い根が多い林木ほど崩壊防止力も大きくなると考えられることから、直径階級別の本数を調べたところ、間伐によって直径の大きい根が多くなるということを示すことはできなかった。

根による崩壊防止力は根を土の中から引き抜いたときの抵抗力によって推定できる。そこで、間伐されたスギの根が腐朽することによる崩壊防止力の減少を定量的に把握するため、間伐後に根が腐朽した場合の引き抜き抵抗力を測定した。その結果、伐採後約10年までの間に引き抜き抵抗力は急減することを明らかにした（図2）。

これらの成果を用いて、スギ間伐林分の崩壊防止機能をシミュレーションによって評価した。前述したように、間伐・非間伐林分でスギ根系分布に違いが生じないと仮定し、引き抜き抵抗力を使って3000本/ha植栽した非間伐林分、3000本/ha植栽後3回と4回間伐を実施した2林分を想定して斜面安全率を算出した。その結果、35年生以下の場合、非間伐林分と3回間伐林分では斜面安全率に明瞭な違いは認められないことを示した（図3）。

成果の利活用

放置された林分における斜面の安定性に関する基礎的なデータを提供できたことから、国土保全のための

山地災害危険地区調査、治山計画、保安林整備等の推進にとって重要な指針となる。

主な発表文献

阿部和時・黒川 潮・竹内美次 2004 間伐が森林の持つ表層崩壊防止機能に及ぼす評価手法の開発．日本地すべり学会誌 41(3)：9-19

黒川潮 2005 表層崩壊を防止する根の強さをはかる．森林科学 44：42

担当：松浦純生・水谷完治・黒川 潮・北田正憲（水土・山地災害研究室） 阿部和時（元水土・山地災害研究室）

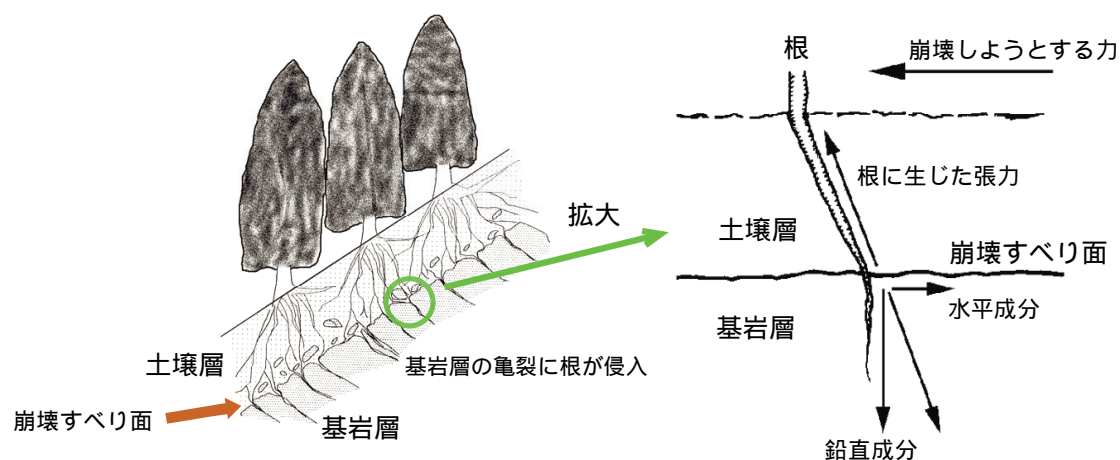
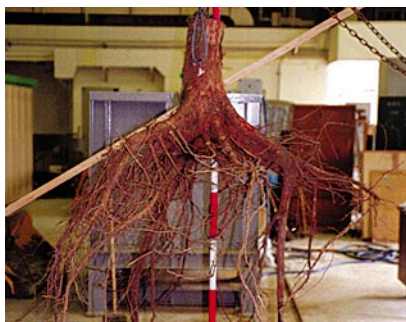


図1 森林斜面表層部の構造と根による表層崩壊防止機能が発揮される模式図

森林斜面では樹木の根が土壌層の下にある基岩層の亀裂や風化部分まで侵入し（左図）、豪雨などで土壌層が崩れようとするとき（表層崩壊）、これらの根に張力が発生し、その水平成分は崩壊しようとする力に直接抵抗し、鉛直成分は崩壊すべり面の摩擦力を増加する形で崩壊を防ぐ働きをしている（右図）。



非間伐林分のスギ、立木密度 3,300本/ha
39年生、胸高直径14.5cm、樹高18.5m



間伐林分のスギ、立木密度 1,400本/ha
47年生、胸高直径19.1cm、樹高20.9m

写真1 間伐林分と非間伐林分から掘り出したスギ根系の比較

間伐した林分のスギと非間伐林分のスギの間に、全根系体積、根の直径と本数の関係、深度方向の根の体積分布についての相違は認められなかった。

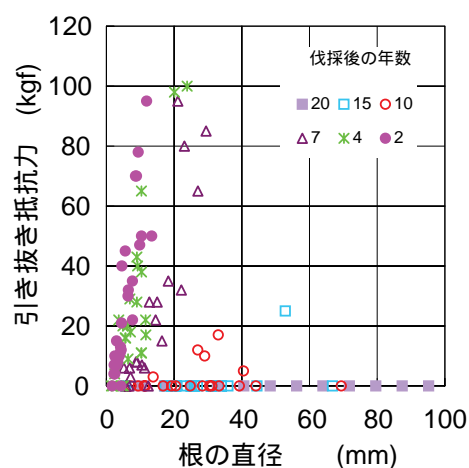
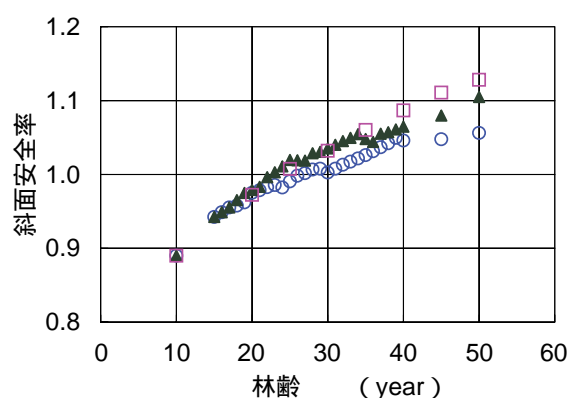


図2 伐採後の根の引き抜き抵抗力の減少

間伐木の根は徐々に腐朽して引き抜き抵抗力が弱まる。すなわち、崩壊防止機能が低下する。



○4回間伐林分 ▲3回間伐林分 □非間伐林分

図3 間伐回数3回と4回、および非間伐スギ林分における斜面安全率の比較

35年生以下では非間伐林分と3回間伐林分では斜面安全率に明瞭な違いは認められない。

イイ1b 山地の地形から表層土厚さを推定する

背景と目的

全国の森林地帯を対象に林野庁によって行われている山腹崩壊危険地区判定調査では、地質、斜面傾斜、斜面横断形、表層土厚さ、樹種、樹齢の6種類の崩壊素因データが用いられている。このうち、表層土厚さは、崩壊危険度に対する影響度がきわめて大きい因子であるが、実測には多大な労力が必要とされるため、面的なデータを得ることが難しく、地形などの入手しやすい情報から簡易に推定する方法が求められている。なかでも、古第三紀以前の地層からなる山地は高標高の山地が多く、多数の崩壊が発生しているにも関わらず、花崗岩や新第三紀層の山地と比較して、土層厚の分布に関する知見がきわめて不足している。このような観点から、四万十帯に含まれる大井川支流榛原川の高標高山地において、表層土厚さの分布と地形との関係を明らかにした。

成果

調査流域内の源頭部20斜面（図1）で、100～240mの測線を各斜面に設定して、20m間隔に測点を設け、各測点で土研式簡易貫入試験器による貫入試験を行い、深さ毎の土層の堅さを調べた。この流域に見られる崩壊地のすべり面には明らかに基岩が露出しているため、Nc値が40以上で、その下層も40以上の堅さが続く深さを表層土と基岩層の境界とみなした。また、表層土厚さと地形条件との関係を解析するため、DEM（数値標高モデル）を用いて各測点における斜面傾斜と斜面横断角度（等高線の屈曲度を示す指数）を算出した。

図2には各測点の斜面傾斜角度と斜面に垂直な表層土厚さの関係を示した。両者の間に一定の関係は存在しないが、約60°～30°の斜面では、図中に破線で示したような表層土厚さの上限値がみられ、この直線よりも厚く表層土が発達すると、降雨時に表層土が水分を多量に含んだ場合などに斜面下方への力が増大し崩

壊が発生すると考えられる。この直線よりも下の部分には、限界土層厚に達する前の様々な発達段階の斜面の表層土厚さが、崩壊発生からの経過時間の違いに応じてプロットされていると解釈される。また、図3には斜面横断角度と平均表層土厚さの関係を示した。これによると、表層土厚さの上限値は凸型斜面では薄く、凹型～平滑斜面で厚い傾向がみられる。凹型斜面では表層土厚さのばらつきが大きく、崩壊後の時間の経過とともに徐々に表層土が厚く発達するものと思われる。

表層土厚さを、より正確に求めるには、各斜面における最後の崩壊発生時からの経過時間を考慮する必要があるが、現実的には経過時間を推定することは困難であるので、現段階では地形量から近似式を元に表層土厚さを推定せざるを得ない。この方法は任意地点の表層土厚さを推定するには精度が不十分だが、流域レベルで、表層土厚さの分布の概要を知るための非常に実用的な方法であると考えられる。

成果の利活用

研究成果は林野庁による山地災害危険地区対策調査報告書において報告され、危険地判定精度向上のため

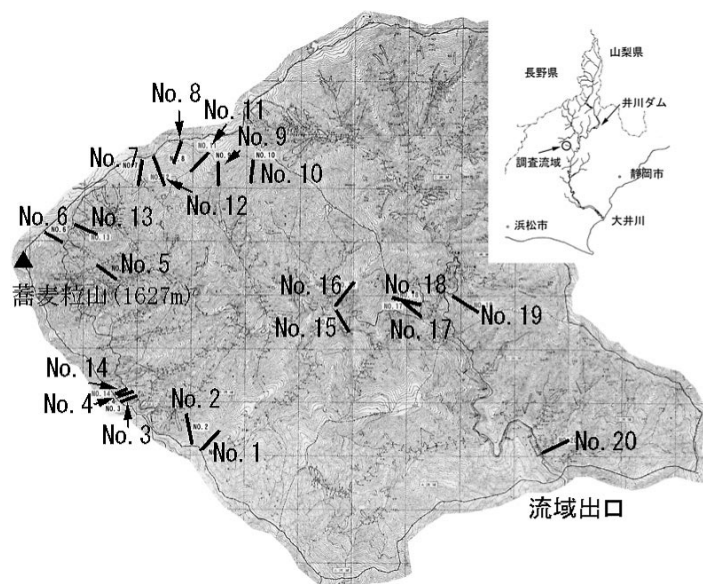
の基礎的知見として活用される。

主な発表文献

阿部和時ほか、2003、高標高山地斜面の表層土厚さの分布に関する研究、日林関東支論 54：213-216。

阿部和時ほか、2004、高標高山地斜面の表層土厚さの分布に関する研究（ ）、日林関東支論 55：267-270。

担当：黒川 潮・水谷完治・北田正憲・松浦純生（水土・山地災害研究室）、大丸裕武（水土・災害危険地判定チーム）、清水 晃（水土・水保全研究室）、坪山良夫（水土・水資源利用チーム、阿部和時（元水土・山地災害研究室）



No. 1~14 : 広葉樹林、 No. 15~20 : 針葉樹林

図1 大井川支流の榛原川の試験流域と表層土厚さを計測したNo. 1~20の斜面位置

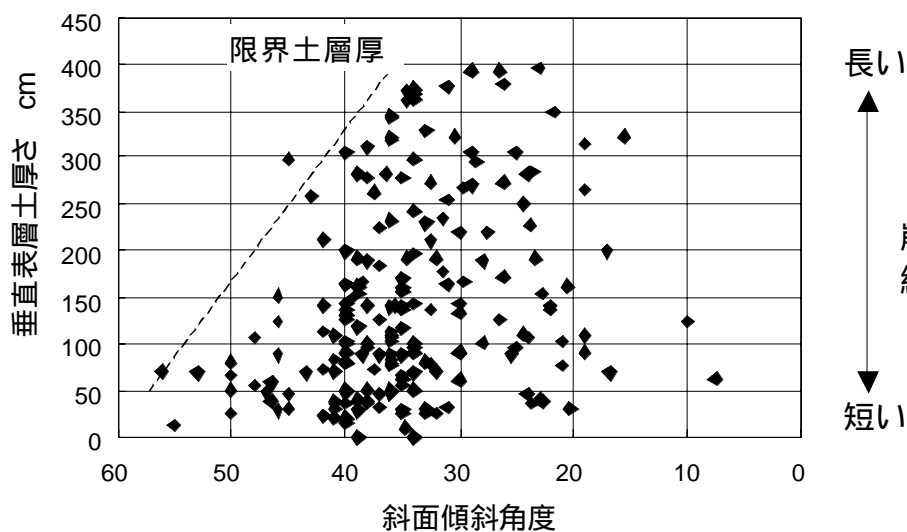


図2 斜面傾斜角度と表層土厚さの関係
破線は限界土層厚さを表している。

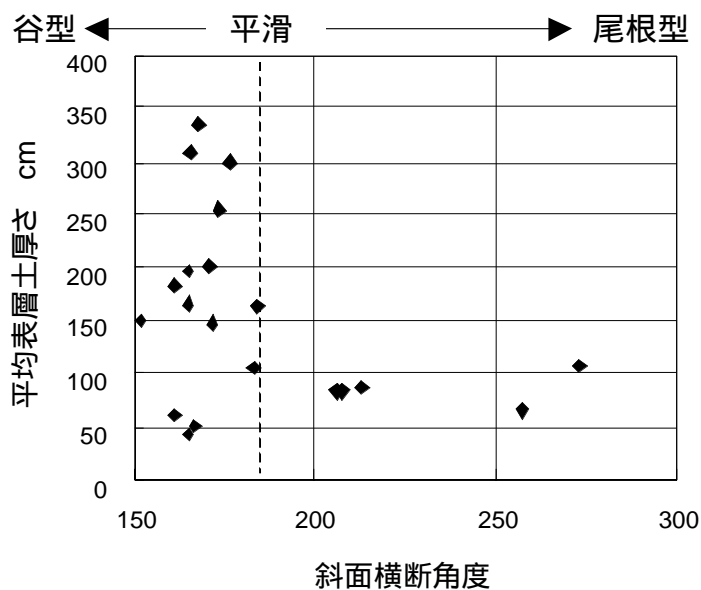


図3 斜面横断角度と平均表層土厚さの関係

イイ1c いつ、どこが崩れるかをリアルタイムで予測する

背景と目的

集中豪雨により毎年のように発生する山崩れは、下流域の農山村や公共施設等に多大な被害を与えている。そこで、被害を少しでも減少させるために山崩れの発生危険度予測の精度を上げることが社会的、行政的ニーズとなっている。現在、山崩れ発生危険度予測には既往の災害データを用いた統計手法が多く採用されているが、予測結果を短時間で出すことは困難である。人的被害を発生させないためには、現在降っている雨や数時間後に降ると予想される雨に対応して、リアルタイムで、いつ、どこで山崩れが発生するかを予測できるシステムが極めて有効と考えられる。

そのために、気象庁が1時間ごとに発表している、今後6時間後までの時間降雨量予測データ（レーダーアメダス6時間降雨予測データ）を使って、山崩れの発生位置と発生時刻をリアルタイムで予測する、山崩れ危険度予測手法を開発した。

成果

山崩れ危険度予測手法の全体的な内容を図1に示す。まず、山崩れ危険度を求めようとしている対象地域のレーダーアメダス6時間降雨量予測データを、インターネットを使って入手し、50mのグリッドごとに調査した地形、土質、植生データとともに山地斜面の安定状態を評価する斜面安定解析モデルに代入する。計算の結果、山崩れが発生すると判定されたグリッドをGIS（地理情報システム）を用いて対象地域の地図データと重ね合わせてハザードマップを作成する。

斜面安定解析モデルの基本的な仕組みを図2に示す。強い雨がが続くと土中水の量は多くなり、表層土が斜面下方に崩れようとする力が大きくなる。この手法では、山崩れの発生を防ぐ土が持っている抵抗力と、土中水の増加により斜面が崩れようとする力を比較し、土の抵抗力の方が小さくなる時、山崩れが発生す

るという判断基準を採用した。

この手法では現在の降雨強度でリアルタイムに山崩れ発生位置が予測できると同時に、1時間先、2時間先、……、6時間先まで山崩れの発生位置の予測が可能である。モデル計算の対象地区として静岡県榛原郡中川根町を流れる大井川支流の榛原川最上流域約500haを選定し、山崩れの危険度予測を行った。図3に1時間に100mmの降雨を連続して与え続け、1時間後と3時間後に山崩れが予想される場所を示した。モデル計算の結果、1時間後には22箇所、3時間後には93箇所で山崩れが発生することが予測された。

本手法を使えば、豪雨時に周辺の山々が危険な状態になる前に地域住民を安全に、速やかに避難させることが期待できる。

成果の利活用

この手法の精度をさらに向上させることで、豪雨時の斜面災害に対する警戒避難対策や山地災害危険地区

の判定、及び治山施設の配置などの防災施策に反映させることができる。

主な発表文献

- 阿部和時・黒川 潮・松山康治・渡辺悦夫・西之園一成・松田伸一 2003 高標高山地斜面の表層土厚さの分布に関する研究．日本林学会関東支部大会発表論文集 54：213-216
 阿部和時・黒川 潮・渡辺悦夫・久保田誉・趙 炳薫 2004 高標高山地斜面の表層土厚さの分布に関する研究（ ）．日本林学会関東支部大会発表論文集 55：267-270
 担当：黒川 潮・水谷完治（水土・山地災害研究室）阿部和時（元水土・山地災害研究室）

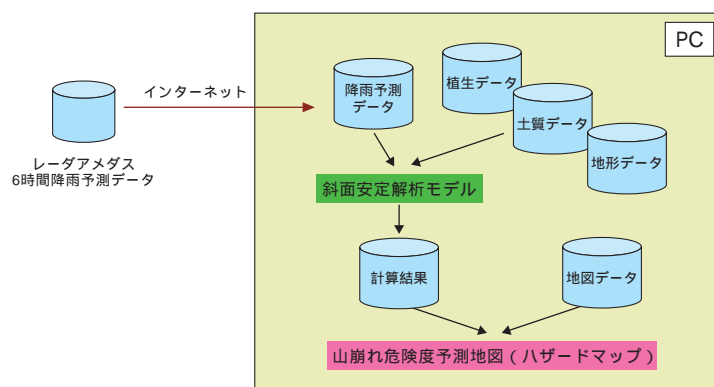


図1 山崩れ危険度予測手法の全体的な構成図
レーダーアメダスからハザードマップを作成するまでの流れ。

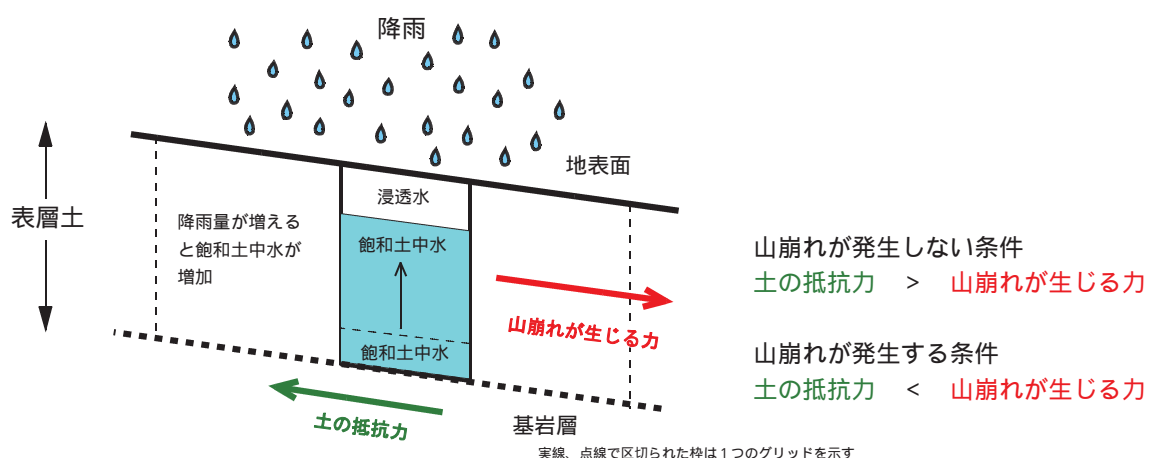


図2 斜面安定解析モデルの模式図
グリッドごとに飽和土中水量が変化することで、山崩れが発生するか、しないかを判定する。

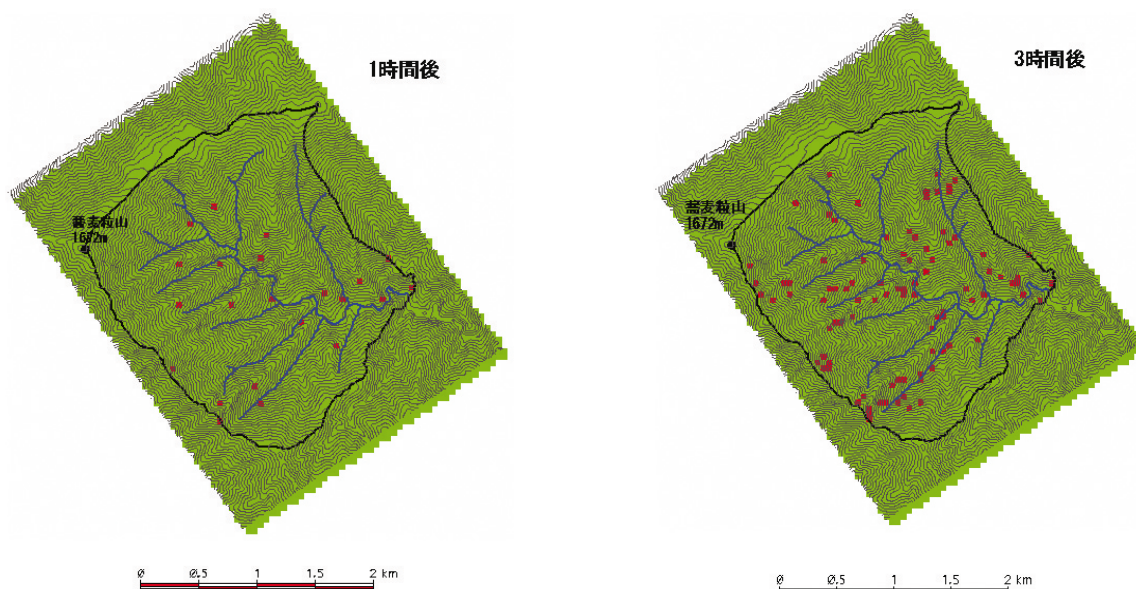


図3 本手法を用い、100mm/hの降雨が連続した場合の山崩れ危険予測地図
赤色が山崩れの発生が予想されるグリッドを示している。

イイ2a 崩壊土砂の到達範囲を予測する

背景と目的

近年、拡大した都市域や中山間域において土砂崩壊が多発しており、その被害を軽減するため崩壊土砂の到達範囲を予測する技術を向上させる必要がある。本課題では物理則を反映させた崩壊土砂の運動シミュレーション手法を開発し、斜面崩壊の発生から停止までを再現し、崩壊土砂の到達範囲の予測技術を高度化する。

成果

崩壊土砂が流動化し長距離移動するメカニズムを実証的に解明するため、粒子の集合運動で崩壊運動を表現するシミュレーションモデルを開発した。ガラスビーズによる模型実験との比較では、ビーズの堆積形状・粒子の前後相対配置が保持される様子を適切に再現した。また、等価摩擦係数（崩壊源頭部と堆積先端部との見通し線の勾配）は動・転がり摩擦係数のうちより小さなものに規定されることを明らかにした。さらに、粒子数と等価摩擦係数の関係は、粒子数の増加に伴い重心等価摩擦係数は大きく、先端の等価摩擦係数は小さくなる傾向がみられたが、粒子数が増加すると重心部では粒子間衝突機会の増加に伴う運動エネルギー消散が大きくなり、先端部では衝突による流下方向のエネルギーをより多く受けるためと推定した。また、斜面傾斜と等価摩擦係数の間には正の相関がみられたが、傾斜の増加に伴い堆積平坦面へ衝突する際の運動エネルギー消散割合が大きくなるためと推測した。以上より、粒状体モデルが乾燥粒子流の運動を適切に再現できることを明らかにした。

粒状体モデルの現地適用性を検証するため、落石実験を行った。落石ブロック数と到達距離との関係については、落石ブロック数の増加に伴ってブロック相互間の衝突機会も増加し、先頭付近のブロックは流下方向へのより多くの運動量が付加されて到達距離が大きくなる一方、中央から後部にかけてのブロックは、相互衝突による運動エネルギーの消耗が大きく、到達距離が小さくなることを明らかにした。以上により、これまで経験則であった崩壊体積と到達距離の正の相関を実証的に明らかにし、その発現メカニズムを解明した。

水の関与した崩壊現象への粒状体モデルの適用のため、粘性要素を導入したモデルを用い、現地地形において流動化した土砂のシミュレーションを行った。崩壊発生から停止までの間に崩壊土砂が溪岸斜面に乗り上げながら地形に沿って流下する状況を適切に再現することができた。また、崩壊発生から停止までの経過時間を70～80秒、流下速度の最大値を約25m/secと推定し、流動土砂の運動を適切に表現できることが明らかとなった。

成果の利活用

従来経験的手法によってきた土砂到達範囲の予測精度を向上させることが可能となった。これにより土砂

災害ハザードマップの基礎技術の高度化、効果的な治山施設の配置、警戒・避難対策の向上に貢献できる。

主な発表文献

Y. Okura et al. 2003 Topography and volume effects on travel distance of surface failure. Engineering Geology, 67: 243-254

Y. Okura et al. 2004 Fluid coupling in PFC3D using the measurement spheres. 2nd International PFC Symposium on Numerical Modeling in Micromechanics via Particle Methods, Kyoto, Japan

岡田康彦・落合博貴 2005 間隙水圧連成型個別要素法による砂の非排水せん断挙動予測. 第44回日本地すべり学会研究発表会講演集、143-146

担当：落合博貴・三森利昭・岡田康彦（水土・治山研究室）、大倉陽一・川浪亜紀子・松井琢郎（元水土・治山研究室）

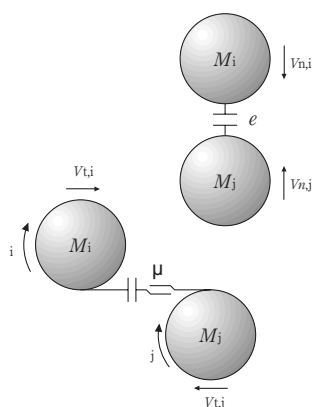


図1 剛性粒状体モデル

粒子の鉛直方向と接線方向の衝突時の相互作用により粒子の集合運動を表す。

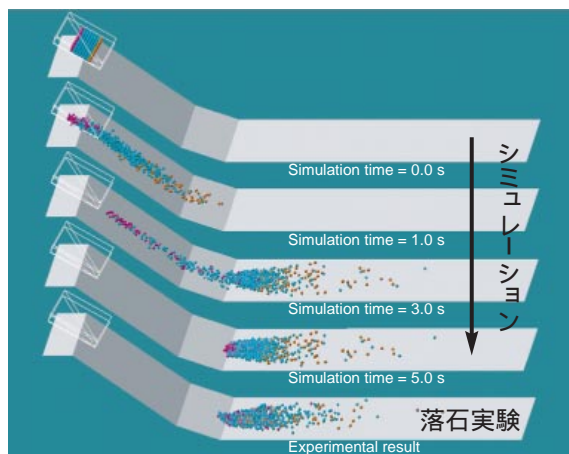


図2 3次元粒状体モデルによる落石実験の再現
体積 0.001 m^3 の花崗岩ブロック1000個の崩壊から停止までの状況を実験と粒状体シミュレーションにより再現した結果、落石の相互作用、堆積分布を適切に再現することができた。



図3 3次元個別要素法による土石流シミュレーション

崩壊発生から土石流化して堆積するまでの過程を多数の粒子の運動により再現した。

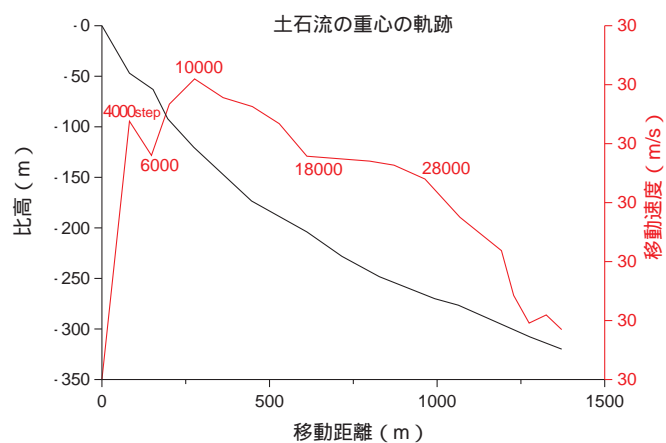


図4 土石流流下時の速度変化

土石流の発生から停止までの重心の速度を計算した。地形の影響による速度の変化を妥当に再現した。

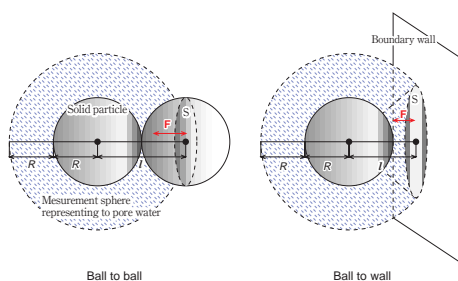


図5 流体圧を取り入れた個別要素モデル
ある粒子を取り巻く半径 r の測定要素と他の要素との重なりから粒子同士の間隙を計算し流体圧を評価する。

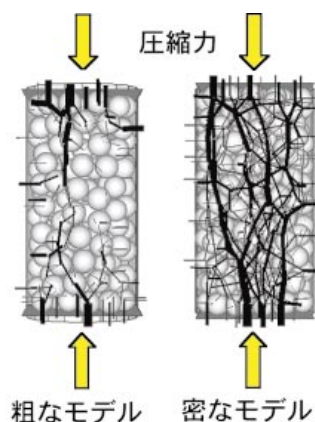


図6 流体圧連成モデルによる圧縮試験の再現
密度を変えて要素を円筒形の容器に詰め、拘束圧を与えてから上下方向に圧縮した。間隙の多い粗なモデル(左)は液状化したため応力の伝達が少なく、間隙の少ない密なモデルは応力の伝達が多く非液状化を再現している。

イイ2b 崩壊土砂の流出条件と危険流域を推定する

背景と目的

近年多発している局地的豪雨により、山地において発生した斜面崩壊が土石流化し土砂災害を引き起こす例が多い。そのため、土砂災害の潜在的危険地を把握し、土石流発生の可能性の高い流域を事前に知る必要がある。

そこで、崩壊土砂が流動化し土石流となって長距離を流下する条件を解明するとともに、崩壊土砂流出危険流域の判定技術を向上させる。

成果

土の間隙比（土粒子に対する間隙の体積比）を変えた急速圧縮試験により、ある深さごとの液状化・非液状化の境界間隙比の存在が明らかとなった。また、境界間隙比の上下2種類の間隙比の土層で行った室内斜面崩壊実験の結果、緩詰めの場合、上部斜面が崩壊して下部斜面を圧縮することにより、土層内に過剰間隙水圧が発生し流動化した。一方、密な場合、運動は緩慢で斜面途中で停止し、その後は表面侵食が卓越した。間隙比が流動化の指標として有効であることを明らかにした（図1）。

土層深分布を変えた崩壊実験で、崩壊発生後土砂が下部斜面に乗り上げた際、上部斜面に比べ下部斜面の土層深が薄い場合は土層の流動化が起きたが、下部斜面が厚い場合は相対的に含水率が小さく上部斜面の土砂が乗り上げても流動化せず停止した。崩壊が流動化し規模を拡大するためには、崩壊斜発生部だけでなく崩壊が流下する下部斜面の土砂の流動化の難易に大きく左右されることが判明した。

加波山の現地斜面崩壊実験では、平均降雨強度78mm/hで6時間50分経過後、崩壊が発生した。崩壊発生数秒前から土層中の間隙水圧が一時的に低下して負圧を生じ、その後急激に上昇しながら移動速度が増大して崩壊が発生した。これは土層のせん断に伴う体積膨張による負圧の発生と土層の流動化の結果と推定した。また、崩壊発生直後に水頭約250cmの過剰間隙水圧を示して土層が流動化し、従来人工斜面の実験で観測した現象を、自然斜面で初めて確認した（図2、3）。

平成16年新潟県中越地震に伴い新潟県山古志村（現長岡市）の風口峠、羽黒山において、大規模崩壊が発生し、現地調査・繰り返しせん断試験により過剰間隙水圧が発生して流動型の崩壊が発生した可能性を示した。また、地震応答解析の結果、崩壊地の滑落崖が位置する尾根付近で地形効果により入力加速度の約3倍の振幅応答がみられ、尾根付近で崩壊が発生した可能性を指摘した（図4、5）。

成果の利活用

現在林野庁が行っている山地災害危険地の指定基準に、本課題で明らかになった崩壊・土石流の発生及び継続条件を加味することにより土砂流出危険流域が推

定でき、治山事業をより効果的に計画・施工することができる。

主な発表文献

- Y. Okura et al. 2002 Flow failure generation caused by monotonic liquefaction. International Symposium on Landslide Risk Mitigation and Protection of Cultural and Natural Heritage: 155-172
 Y. Okura et al. 2002 Landslide fluidization process by flume experiments. Engineering Geology, 66: 65-78
 H. Ochiai et al. 2004 A fluidized landslide on a natural slope by artificial rainfall. Landslides, 1(3): 211-219
 担当：落合博貴・三森利昭・市川裕子・岡田康彦・多田泰之（水土・治山研究室） 中井裕一郎（北海道・寒地環境グループ） 寺嶋智己・大倉陽一・川浪亜紀子・松井琢郎（元水土・治山研究室） 小山 敢（鳥取県）

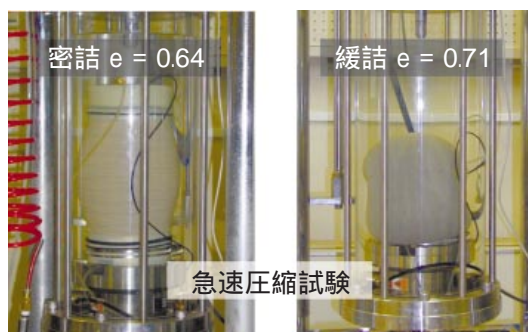


図1 流動化の指標としての土の境界間隙比・液状化・非液状化の境界となる間隙比が存在し、急速圧縮試験によって、より粗な土は液状化し密な土はなかった。斜面崩壊実験では、粗では崩壊後急速に流動化し密では緩やかな現象となり、境界間隙比は流動化の指標とすることができる。

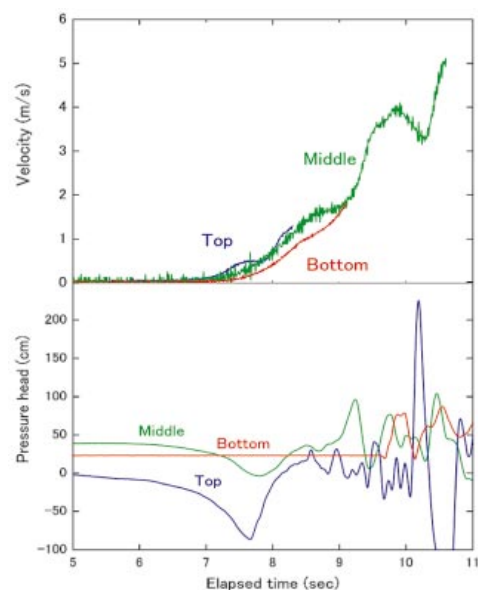


図2 崩壊発生に伴う負圧と過剰間隙水圧
崩壊の頭部の移動速度 (Top: 青色) がはじめに上昇し、続いて斜面中部 (Middle: 緑色)、下部 (Bottom: 赤色) の順に移動を開始した。

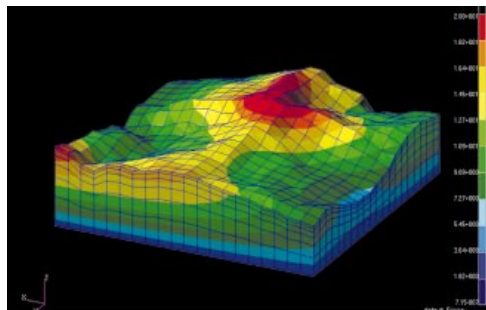
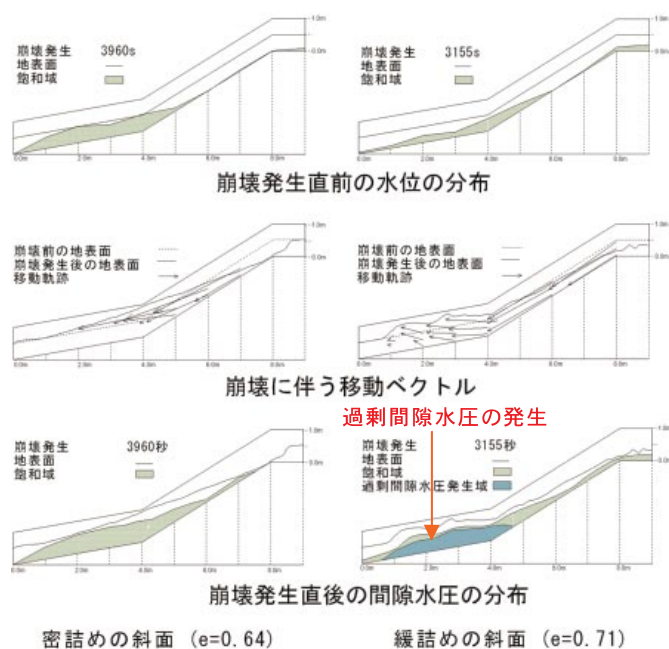


図4 地形効果による地震動の増幅
羽黒山稜線部で入力加速度の3倍の応答が見られ、加速度の増幅が稜線沿いで崩壊を発生させたと推定した。



密詰めの斜面 (e=0.64) 緩詰めの斜面 (e=0.71)

斜面崩壊実験



図3 土石流化した崩壊土砂の先端の軌跡
崩壊発生から停止するまでの土石流先端の速度変化をビデオ画像と現地測量結果との比較により解析した結果、土砂の最大速度は毎秒約7.2mであった。

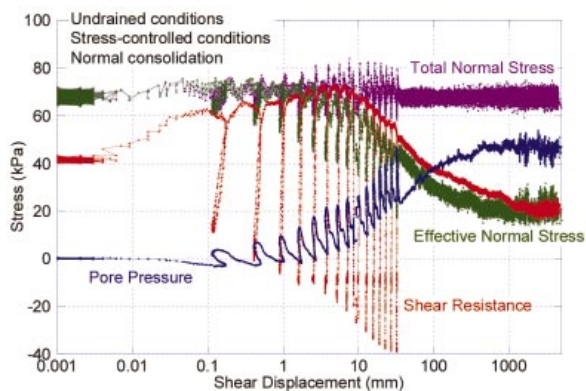


図5 羽黒山試料のリングせん断試験の結果
せん断変位の増加と共に次第に間隙水圧 (青) が上昇し、せん断抵抗 (赤) が減少しており、地震時の土の強度低下により崩壊が発生したと推定した。

イイ2c 地すべり土塊はどのように移動し、変形するのか

背景と目的

日本に分布する再活動型地すべりの多くは、活動と休止を繰り返しながら長期間ゆっくりと移動する特徴を持つ。地すべり土塊は移動中に自身の変形（膨張・圧縮）を生じるが、それが拡大すると降雨や融雪などによって急速な運動や流動化へ至る危険性がある。したがって変形を伴う地すべりに対しては、適切な対策法や危険度予測技術の確立が重要である。本研究では、第三紀層の再活動型地すべりにおける長期動態観測によって地すべりの変形機構を明らかにするとともに、数値解析による地すべり変形予測技術の開発を目的とする。

成果

新潟県上越市の伏野地すべり地において自動観測システムを構築し、地すべり移動・地下水・気象等に関する長期観測を行った。観測結果によると、同地すべりの2002年4月から2003年3月の1年間にける地表面移動量（中部ブロック）は、土塊上端で266mm、下端で1,708mmとなり、膨張変形を示した。上下端の地表面移動量の関係は、積雪環境に強く支配される7期間（(a)夏期、(b)秋期、(c)積雪初期、(d)積雪発達期、(e)積雪安定期、(f)融雪期、(g)春期）に分けて明瞭に特徴づけられた（図1）。このなかで、(b)秋期から(d)積雪発達期にかけては地すべりの移動が活発で、移動に伴う地すべり土塊の膨張変形も最大となった。その後、積雪が十分に形成された(e)積雪安定期には一度停止し、(f)融雪期になると再び移動を開始した。しかし(f)融雪期には移動に伴う変形は認められず、土塊は一体となって移動した。このように地すべりの移動に伴う土塊の変形特性は積雪期間の前後で異なった。このような変形特性の相違は積

雪荷重による地盤の強度変化が関与したためと考えられる。

地すべりの変形予測技術を開発するため、航空レーザ測量による地表・積雪両面の標高値、調査ボーリングによる地質区分等を用いて二次元数値地形モデルを構築した。土質試験から得た解析パラメータのもと、実際の現象を模擬した降雨、積雪および融雪をモデルに与え、有限要素法による浸透・応力連成解析を行って地すべりの変位・変形の分布を求めた。

作成したモデルに積雪層（2.5～3.0m）相当の荷重を加えたところ、土塊の圧縮により全域で地下水位が約1m上昇すると算出され（図2）、これは観測結果と調和的であった。また、積雪・融雪・降雨による地すべりの変位量を求めたところ、現実と同様の地すべり運動、すなわちすべり面を境界とした土塊の移動が再現された。また移動量の卓越部位も観測値と計算値の間で一致し、モデルの変形予測に対する適用性が確認された（図3）。

成果の利活用

第三紀層の再活動型地すべりにおける変形の卓越箇所を推定することが可能となり、同地すべりに対する

対策構造物の施工箇所を決定する際の根拠として活用できる。

主な発表文献

浅野志穂・松浦純生・岡本 隆・松山康治 2003 振動台実験による斜面の地中変位量の計測．日本地すべり学会誌 40（2）：30-33

Okamoto et al. 2004 Displacement properties of landslide masses at the initiation of failure in quick clay deposits and the effects of meteorological and hydrological factors. Engineering Geology, 72: 233-251

Asano et al. 2004 Estimation of landslide hazard by the seismic acceleration in a mountain area. Landslides: Evaluation and Stabilization, Balkema, 435-439

担当：松浦純生・岡本 隆・浅野志穂（水土・山地災害研究室） 阿部和時・松山康治（元水土・山地災害研究室）

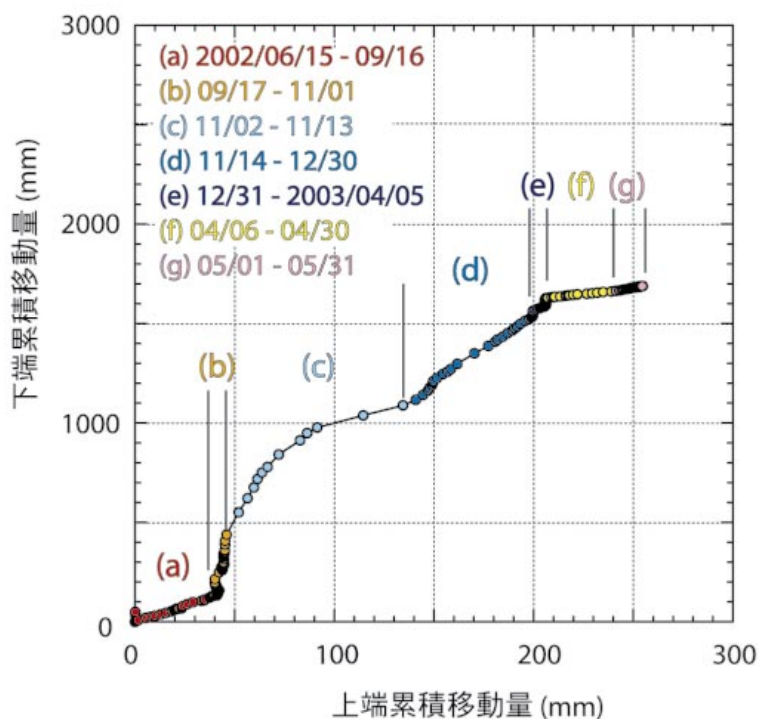


図1 地すべり土塊における上下端の移動の関係（中部ブロック）

各期間ごとに上下端における移動の関係が異なる。(b)秋期から(d)積雪発達期の間は地すべりの移動に伴って土塊が膨張変形するが、(f)融雪期には移動に伴う変形は生じない。

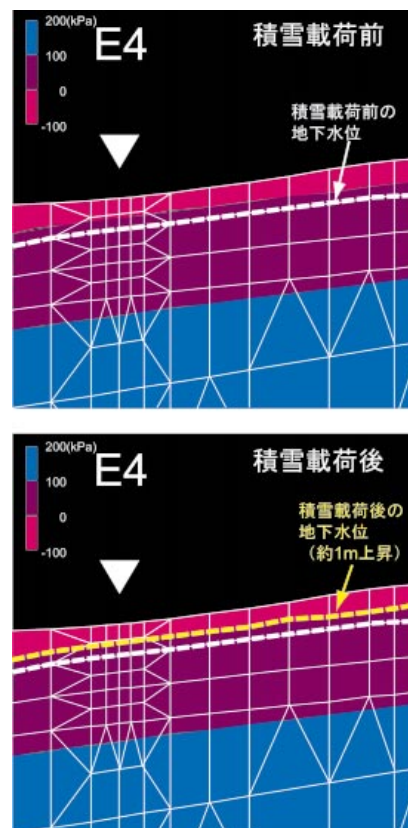


図2 積雪による地下水位の変動解析
積雪荷重によって地盤が圧縮され、水位が約1m上昇し、観測結果と合致した。

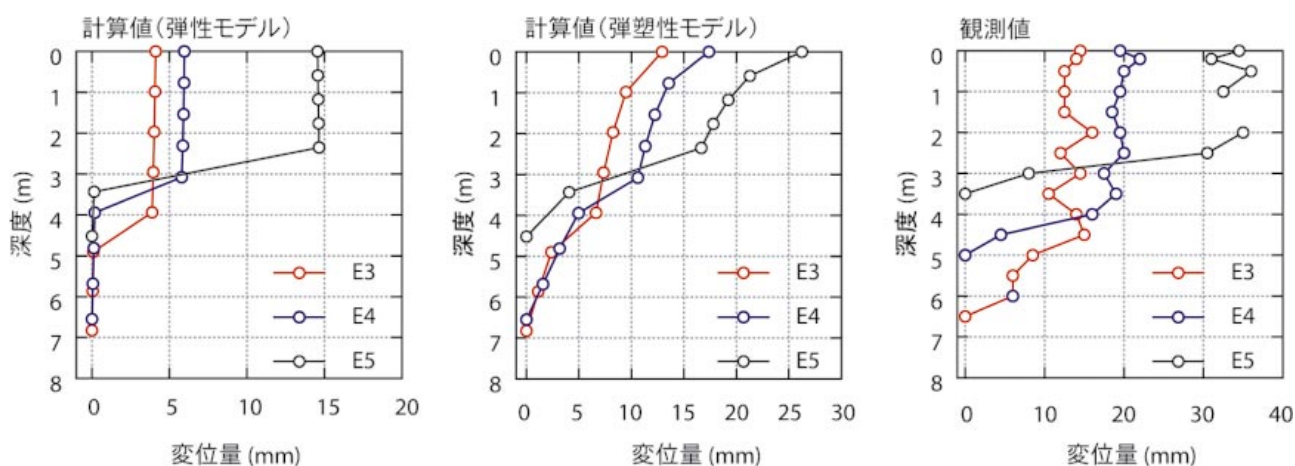


図3 数値解析によって得られた地すべり変位の鉛直分布

積雪・融雪・降雨の各現象をモデルに与えて求められた計算変位（左図、中央図）と実際の観測値（右図）。計算ではすべり面（深度3-4m付近）を境界とした上部土塊の大変位が再現され、観測値と調和した。

II 2d 大規模な地すべり地の地下水の流れを予測する

背景と目的

大規模な地すべりは、発生機構が複雑であるため、地すべり防止に高度な技術力が求められている。特に多雪地帯に位置する大規模地すべりは、融雪時期に大量に浸透した地下水が地すべりの原因となることから、防止対策として地下水を適切に排除する技術が必要となっている。しかし大規模地すべり地における地下水の挙動は非常に複雑であるため、融雪時期の地下水特性の解明や、地下水排除工による地下水の変化と地すべり安定性の関係の解明などが、効果的な地すべり対策を行うために必要となっている。本研究では、現地観測や試験、さらに数値解析などにより融雪時期の地下水の起源となる融雪水発生の特徴や地表から浸透した地下水の流動特性を明らかにするとともに、地下水排除工の施工効果や地下水が大規模地すべりの安定性に与える影響を評価することを目的としており、ここでは特に、地下水変動予測や地下水排除工の影響評価についての成果を示す。

成果

山形県に位置する銅山川地すべりを試験地として設定し、降水量や融雪水量等の気象要素、地すべり地内における各地点の地下水位や間隙水圧等の水文要素などについて、通年にわたる連続観測を行った（図1）。またボーリング調査や高密度電気探査の結果等に基づいて作成した三次元地形モデル（図2）を使って、融雪時期を対象に三次元飽和・不飽和地下水浸透流解析を行い、地下水の流動特性を検討した。さらに、地すべり地の地下水を排除するための揚水工の施工効果を評価するため、地形モデルに揚水工のモデルを追加して解析を行い、強制排除による地下水の変動量を推定した。

現地観測の結果、年間を通じて短期的な地下水変動は見られず、長期的には特に融雪期後に顕著な水位上昇が観測された。これは融雪期になると20mm/日を超える多量の融雪水が長期間にわたって浸透すること

による。また、地すべり地全体で見ると、地下水上昇の開始が早い地区や、地下水上昇量が大きい地区などがあり、地下水位の上昇は様ではなく、場所により大きく異なることがわかった。地下水浸透流解析の結果によると、地すべり地特有の陥没地形やシラス層と第三紀層内部の水文地質構造の影響を受けて地下水流の集中や拡散が発生する。（図3）地下水位の上昇は地表からの浸透と共に、地下水流動の水平方向への集中によって発生すると考えられる。また、地すべりの地形モデルに地下水排除工のモデルを追加して浸透流解析を行ったところ、地下水位の低下量は地下水排除工の設置深度や周辺地盤の透水性、地下水流動の大きさ（図4）等に影響を受けることが明らかとなり、これらの要因が大きく作用する地すべり地上部で、排除工の効果が大きいと予測できることを明らかにした。

成果の利活用

これらの研究成果は学会誌への公表の他に、地すべり地を管理する森林管理局に提示し、効果的な地すべ

り対策工の工種、工法や数量等の検討に利活用されている。

主な発表文献

浅野志穂・松浦純生・岡本隆 2004 大規模地すべりの三次元地質構造モデルを用いた地下水流動解析. 応用地質, 40(4): 304-315

Matsuura, S., Asano, S., Okamoto, T. and Takeuchi, Y. 2003 Characteristics of the displacement of a landslide with shallow sliding surface in a heavy snow district of Japan, Engineering Geology, 69: 15-35

担当：松浦純生・浅野志穂・岡本 隆・黒川 潮（水土・山地災害研究室） 松山康治（元水土・山地災害研究室）

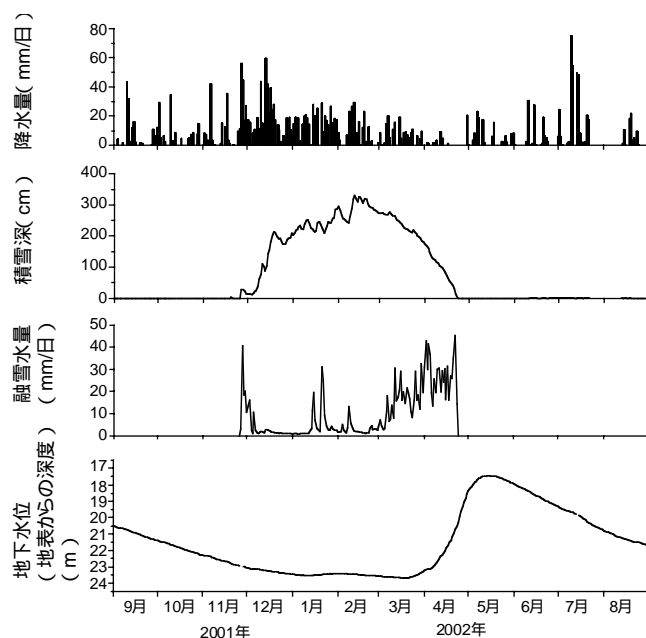


図1 融雪量と地下水位の観測結果（上）
融雪時期に大量の融雪水が浸透して地下水位が上昇する。

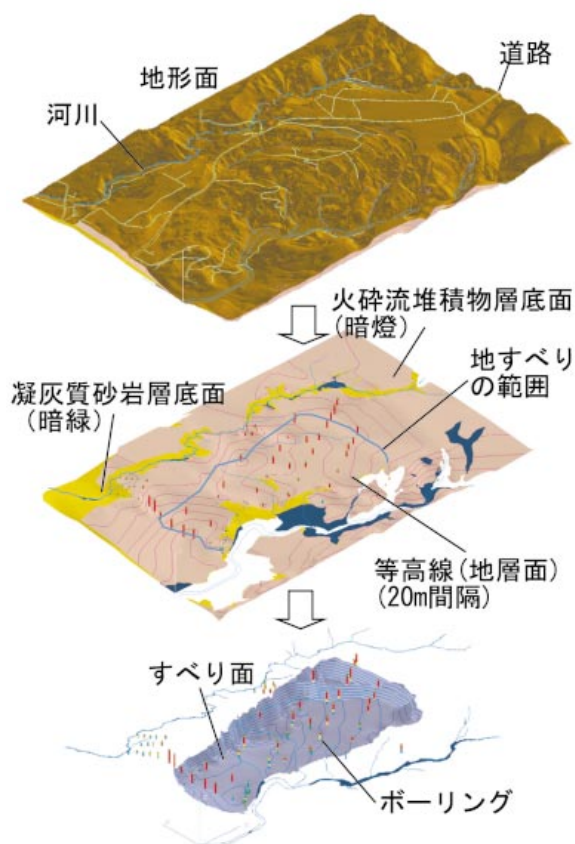


図2 三次元地すべり地形モデル（右）
現地調査から明らかにした地すべり地の地質構造を組み込んだ。

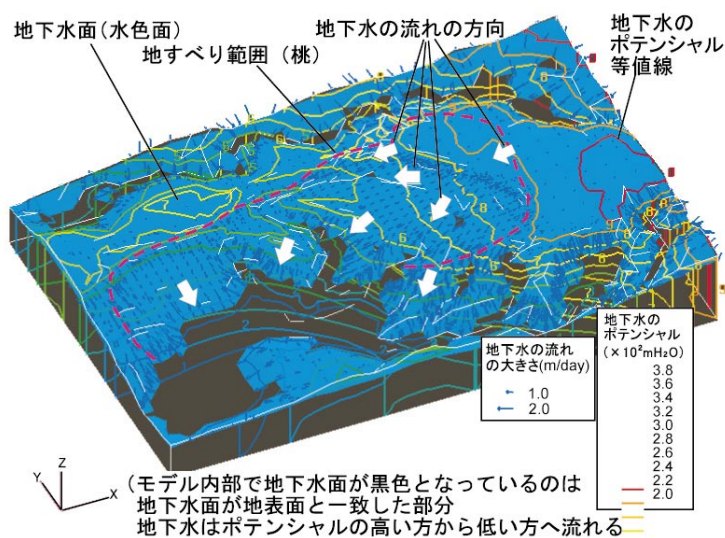
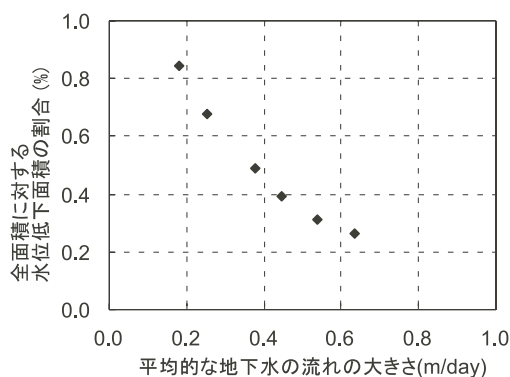


図3 地下水浸透流解析結果

地下水は地すべり地の上方から流入し、地下水位の上昇が大きい箇所は地下水の流れが集まる地点であった。

図4 地下水排除工による水位低下の影響

同じ形状の排水工を、地下水の流れの大きさが異なる場所に設置した場合、地下水の流れが小さい方が、水位低下の影響範囲が広がる。
地下水排除工の効果を検討するためには、地下水の流れを明らかにすることが重要である。



イイ3a 日本・カンボジア国における水流出モニタリング

背景と目的

全国の長期森林理水試験地は森林総合研究所所管以外では、東京大学愛知演習林などごく少数を除いてほとんど存在していない。したがって、日本の山岳森林地における正確な水流出データを全国ネットワークで蓄積し、その地域の基盤的データベースとすることは地域の水文研究の促進に役立つのみならず、行政上使用可能な流量基盤データとしても必要なこととなる。また、水循環に関する問題は国内に限られないということが社会的に広く認識されて、アジアモンスーン地域の一員である日本として関連諸国での水循環研究に積極的にアプローチしていく必要が生じてきた。このため、カンボジアメコン川森林流域を対象に、その水循環実態を把握することを目的として、水文観測を実施した。

成果

対象とする国内5長期森林理水試験地（図-1）では、それぞれ、降雨流出に関わる観測を継続し、水収支解析を行った。各試験地は2から3箇所のサブ流域から構成され、それぞれの流出プロセスの比較解析が可能となっている。森林小流域の4試験地を対象に水収支解析を行い、それぞれの流域における降雨特性、損失量特性を得ることができた（図-2）。また、宝川森林理水試験地は他の森林小流域と異なり本流流域（1906 ha）、初沢（117.9 ha）という非常に大きくかつ高海拔地域に位置する源頭部森林流域であり、積雪、融雪が流出に占める割合も高い。したがって、本流域全体の正確な降水量は不明であったが、今研究期間中に航空機レーザープロファイラを使用した流域

積雪量の解析に着手し、流域全体を対象とした流出解析の進展が期待される。

カンボジア国においてはほぼ中央に位置するコンボントム州に4つの森林流域を設置して降水量、流出量ほか各種水文要素の観測を行った（図-3）。蒸発散観測タワーは高さ60mであり、主として熱収支法を用いて蒸発散量の推定を進めた。これに加えて、タワー近傍に樹冠遮断プロットを設定し、樹冠通過雨量、樹幹流下雨量、並びに林外雨量の計測も行った。さらに、河川水、雨水について貯留ボトルを設置し、質量分析器を用いて得られた資料から酸素、水素安定同位体比を測定した（図-4）。

成果の利活用

全国森林理水試験地でのデータベース化および流域水収支解析ならびに都道府県による水文観測データを用いた各地域の水流出特性（保留量）は、国内の森林流域特性の指標化に貢献するとともに実態データとして

活用できる。さらに、これまでまったくデータの無かったカンボジア国における森林流域の水収支実態の把握は、今後の我国を含む東アジアモンスーン地域の森林水循環研究の推進に大きく貢献することができる。

主な発表文献

Shimizu, A., et al. 2004 Some observations on evapotranspiration in an evergreen broad-leaf forest watershed, Cambodia, Proceedings of the International Conference on "Advances in Integrated Mekong River Management", 130-135

玉井幸治ら 2004 林野火災とマツ枯れによる森林の衰退が流出量と流況曲線に及ぼす影響 - 岡山市竜の口山量水試験地の場合 - 日本林学会誌、43、327-336

北村兼三ら 2003 定山溪森林理水試験地の水収支森林総合研究所北海道支所研究レポート、70、1-4

担当：清水 晃・久保田多余子・壁谷直記・延廣竜彦（水土・水保全研究室）坪山良夫（水土・水資源利用チーム）中井裕一郎（北海道・寒地環境保全グループ）藤枝基久（東北・研究調整官）野口正二（東北・森林環境グループ）後藤義明（関西・大気・森林系チーム）細田育広（関西・森林環境グループ）大丸裕武（水土・災害危険地判定チーム）玉井幸治（九州・山地防災グループ）荒木 誠・伊藤江利子（立地環境・土壌資源評価研究室）大貫靖浩（九州・森林生態系グループ）篠宮佳樹（四国・森林生態系変動グループ）



図1 森林総合研究所の長期森林理水試験地の配置
全国の気候帯に対応した森林理水試験地の位置

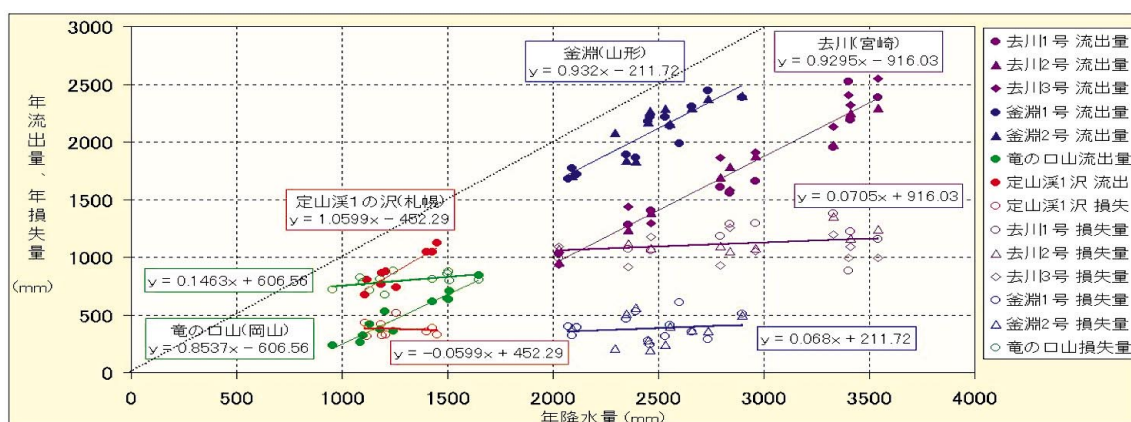


図2 長期森林理水試験地の水収支
全国の4試験流域(森林小流域)を対象に過去の観測資料に基づいて水収支解析を行い、損失量を求めた。各地域の降水量の違いや損失量の傾向などが確認できる。

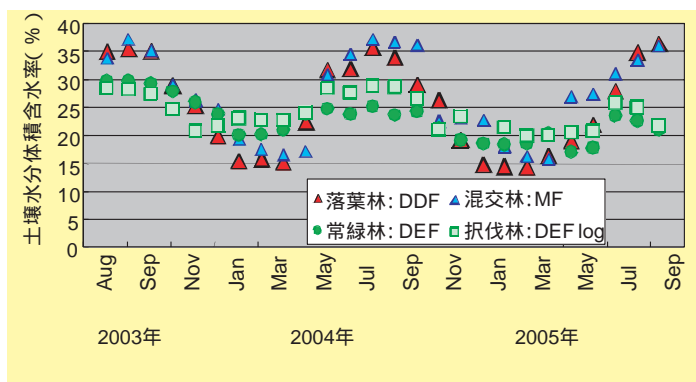


図3 森林タイプごとの土壌水分の季節変動
カンボジア森林プロット(100-cm 深)

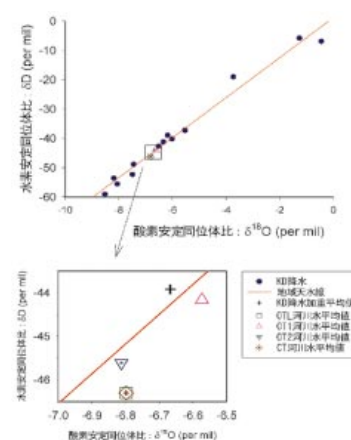


図4 カンボジア森林流域の降水、河川水の
安定同位体組成と地域天水線

イイ3b その水はどこから来たか？

背景と目的

森林流域における水の動きは、水流出、土砂生産、物質輸送等を通じて、下流域にも様々な影響を及ぼす。しかし、その動きには様々なプロセスが関わり（図1）、流束や水分などの物理的な測定だけで流域全体の水の挙動を捉えることは難しい。そこで本課題では、安定同位体比などのトレーサ情報を用いて森林流域から流出する水の時間的、空間的な起源を明らかにするとともに、流域の水分布と流出の長期的な変化の予測手法の開発を目的とした。

成果

常陸太田試験地（茨城森林管理署管内）における三つの集水域（図2；HB、HA、HZ）における流出量を解析した。また、HBとHAでは出水中の渓流水を自動採水装置により採取した。さらに、降水を一定体積毎に分割貯留する装置を製作し、林外雨とHA内での樹冠通過雨を採取した（写真1）。これらの水の酸素安定同位体比（ ^{18}O ）を測定し、その値を用いて出水ハイドログラフを'新しい'水（当該降雨により流域にもたらされた水）と'古い'水（当該降雨より前から流域にあった水）に分離した（図3）。その結果、多くの場合、出水中の渓流水の60%以上は'古い'水であること、樹冠通過雨の ^{18}O は林外雨とは異なること、林外雨と樹冠通過雨の ^{18}O はともに降雨中にも変化すること等を明らかにした。さらに、このような

^{18}O の差や時間変化を考慮して流出成分分離を行うと、これらを考慮しない場合に比べ、'古い'水の推定値に5～10%の違いが生じることを示した。

一方、HB内の流出発生パターンを調べるために三つの集水域の日流量を解析した（図4）。その結果、1次谷（HA）からの流出が集水域全体（HB）の流出にほぼ比例して増減しているのに対して、0次谷（HZ）は、まったく流出がない状態から流域の他の部分と同等かそれ以上に流出を発生する状態まで、幅広い変化を示すことを明らかにした。さらに、準分布型水文モデル（TOPMODEL）を用いてHBの流出シミュレーションを行い、おおむね妥当な再現結果を与えることを示した（図5）。

成果の利活用

洪水流出に占める'新しい'水と'古い'水の割合は流域を移動する水や物質の経路や速さを評価する際の基本的な情報である。また、分布型水文モデルは、気温や降

水パターンの変化あるいは流域環境の人為的な改変に対する流域の応答を予測する際の基礎的なツールとなる。

主な発表文献

Kubota and Tsuboyama, 2004, Intra- and inter-storm oxygen-18 and deuterium variations of rain, throughfall, and stemflow, and two-component hydrograph separation in a small forested catchment in Japan, J For Res 8:179-190

Kubota and Tsuboyama, 2004, On estimation of evaporation rate from forest floor using oxygen-18 and deuterium compositions of throughfall and stream water during non-storm runoff period, J For Res 9:51-59

Tsuboyama, 2006, An experimental study on temporal and spatial variability of flow pathways in a small forested catchment, Bulletin of FFPRI (in press)

担当：坪山良夫（水土・水資源利用チーム）、久保田多余子・壁谷直記・清水 晃（水土・水保全研究室）、黒川 潮（水土・山地災害研究室）、細田育広（関西・森林環境研究グループ）、野口正二（東北・森林環境研究グループ）、藤枝基久（東北・研究調整官）

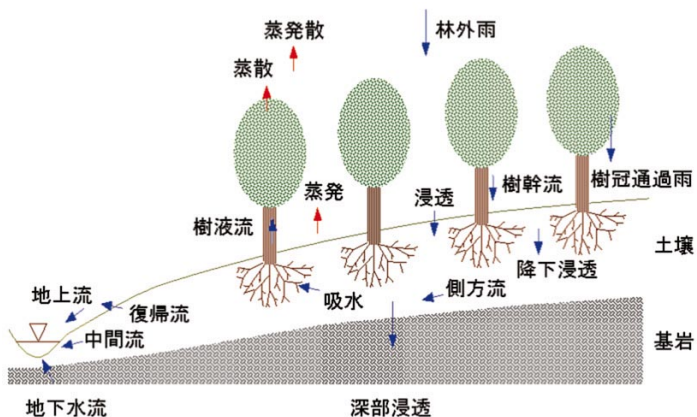


図1 林地斜面における水循環過程（概念図）



写真1 林内雨採水装置

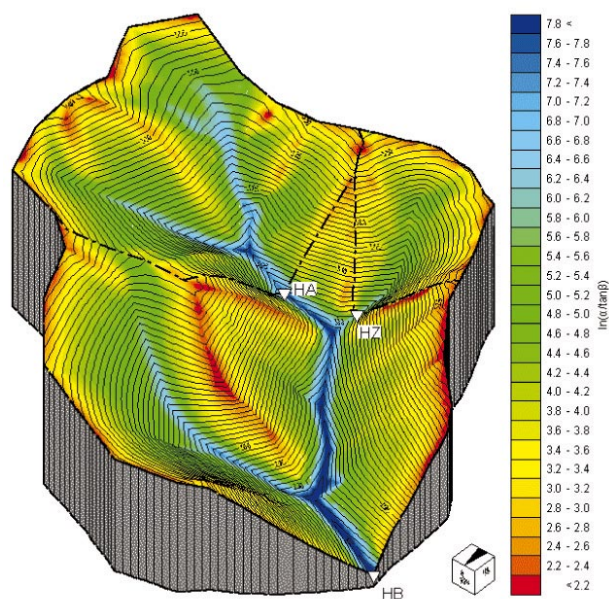


図2 対象流域の地形と地形指数の分布

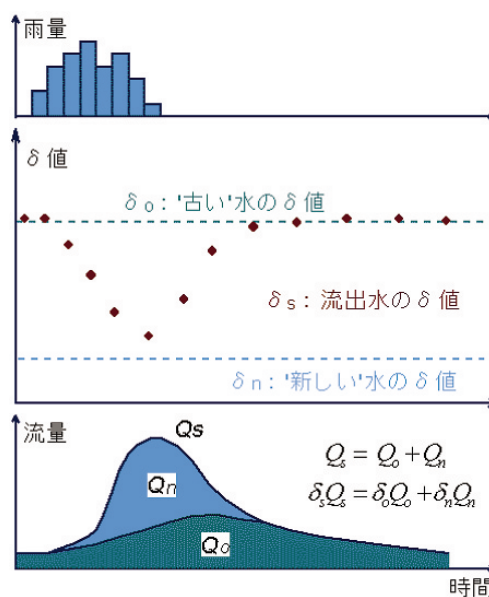


図3 洪水流出の成分分離（概念図）

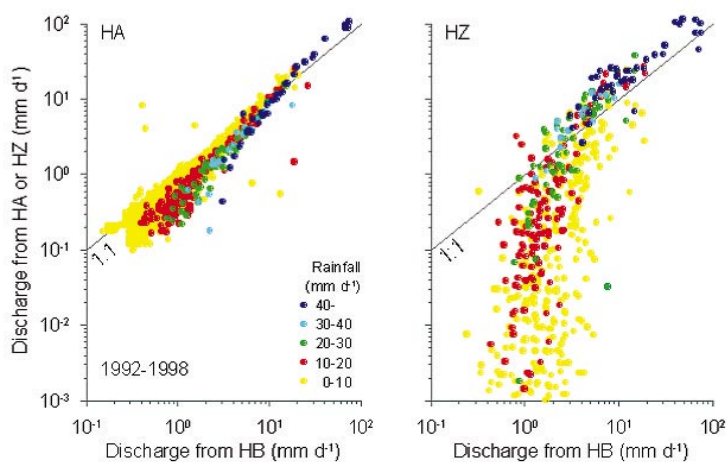


図4 一次谷と谷頭斜面からの流出特性の比較
（1992-1998年の日流量の解析結果）

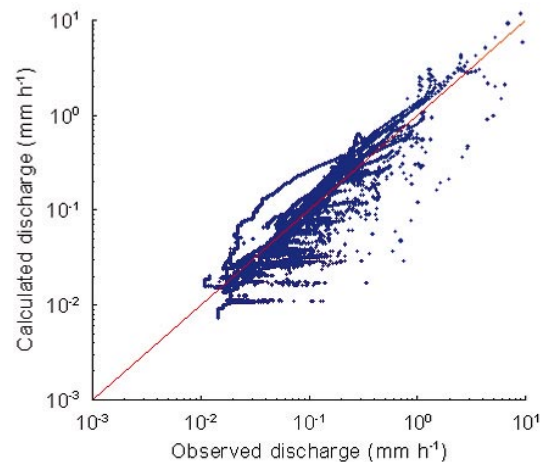


図5 実測流量と計算流量の比較
（1998年の時流量の解析結果）

イイ3c 森林施業が水資源かん養機能に及ぼす影響評価

背景と目的

1千万ヘクタールに及ぶ人工林を今後どのように管理していくかは、わが国の森林政策の推進にとって極めて重要な課題である。しかし、どのような森林形態が水資源かん養機能の維持増進に望ましいかについては未解明な問題が多い。そこで、スギ・ヒノキ人工林流域を対象に水文・気象データを収集・整理し、森林施業が流域水収支に及ぼす影響を明らかにする。また、森林施業や林齢による林分構造の相違を森林生態学的な視点より定量化し、林分構造と流域水収支の関係を定量的に評価する。これらの結果に基づき、水資源かん養機能を高度に発揮する施業方法を検討する。

成果

樹冠遮断と林分構造との関係を明らかにするために、森林総合研究所・常陸太田試験地のヒノキ幼齢林に熱収支モデルを適用したところ、樹冠遮断量の計算値は測定値よりも過小となった。過小評価量は、後述の図3における蒸発散量の測定誤差範囲と同じ程度である。過小評価の原因は、樹冠遮断量が降雨強度に比例して増加する現象（図1、図2）が熱収支モデルに組み込まれていないためと判明した。降雨が強いほど雨滴の粒径と個数密度は大きくなることから、樹体にぶつかった雨滴が細かく砕けてその飛沫が蒸発するメカニズムを新たに提唱し、妥当性を計算で示した。飛沫蒸発は葉面積指数LAIが大きいほど盛んとなることから、樹冠遮断の検討においては葉群動態が重要である。

一方、常陸太田試験地ではヒノキ幼齢林の成長とともに流域蒸発散が増加し、林齢9年では林齢62～66年のヒノキ壮齢林の蒸発散を上回っている（図3）。

この結果を補間するために、林齢300年までのスギ・ヒノキ林でLAIの測定を行い（図4）、熱収支モデルに基づいて蒸発散量・樹冠遮断量を計算した（図3）。蒸発散量・樹冠遮断量（図3）は、LAIの変化（図4）を反映して林齢10年付近でピークに達した後、緩やかに減少する。

葉群動態を検討するため、一般的な間伐施業（国有林）と優良大径材の生産を目的とした吉野林業を事例として、林齢と林分構造との関係をシミュレーションした。その結果を実測値と比較したところ間伐による林分密度効果を反映した林木の成長経過が良く再現され、葉量に関しては林齢5～20年でピークに達した後減少して林齢40～50年以降は再び増加した（図5）。これらの結果からは、図3とは逆に高齢林分において蒸発散が増加することが予測される。高齢林の葉群動態については、今後、データの蓄積と検討が必要である。

成果の利活用

新たに提唱された飛沫蒸発は森林水文の基本的プロセスであり、学術的価値が高い。また、測定と計算か

ら葉群動態と蒸発散の関係を定量的に示した。

主な発表文献

村上茂樹 2002 スギ・ヒノキ人工林におけるLAIと蒸発散の林齢依存性およびその水源林管理への応用の可能性 水文・水資源学会誌 15: 461-471

千葉幸弘・西上 愛・右田千春 2006 樹形と個体サイズ分布から推定される葉群の垂直分布。 第57回日本林学会関東支部大会論文集（印刷中）

Murakami, S. 2006 A proposal for a new forest canopy interception mechanism: Splash droplet evaporation Journal of Hydrology（印刷中）

担当：村上茂樹（気象環境・十日町試験地）、千葉幸弘・川崎達郎（植物生態・物質生産研究室）、藤枝基久（東北・研究調整官）、清水 晃（水土・水保全研究室）、福田未来（元森林管理・資源解析研究室）

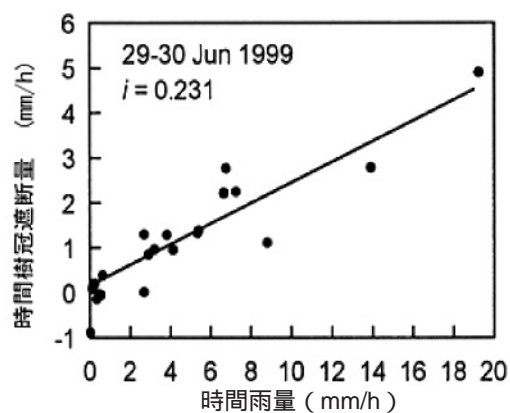


図1 樹冠遮断と降雨強度の測定例
一降雨イベントにおける測定例。回帰直線の傾き i を降雨強度依存性と定義する。

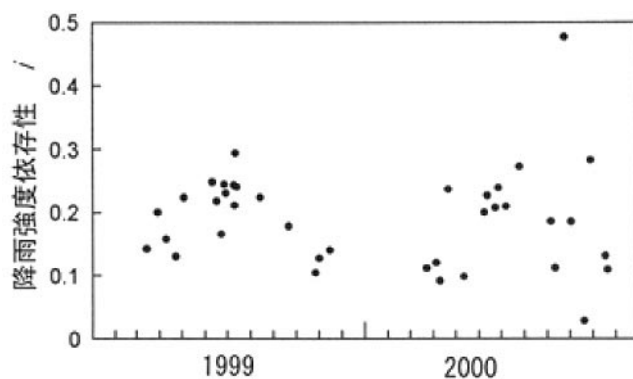


図2 降雨強度依存性 i の季節変化
降雨強度依存性 i は夏季に最大となる季節変化を示す。

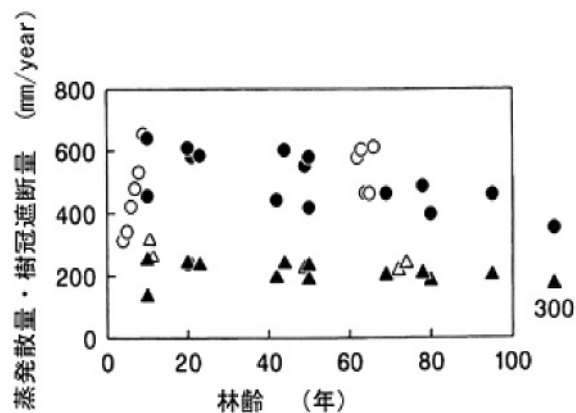


図3 蒸発散量・樹冠遮断量と林齢
○：蒸発散測定値、△：蒸発散計算値、
●：樹冠遮断測定値、▲：樹冠遮断計算値

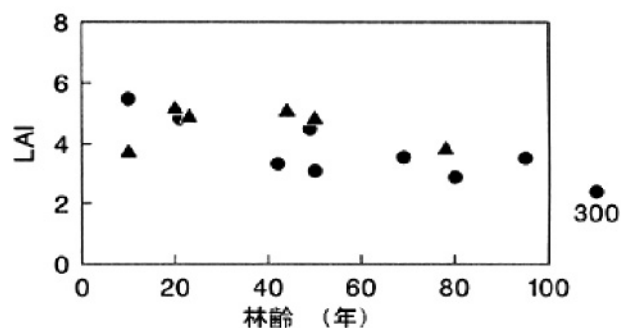


図4 キャノピーアナライザーによるLAIの測定値
●：スギ、▲：ヒノキ

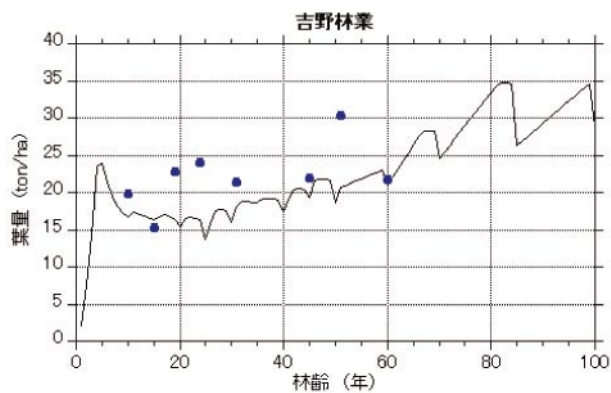
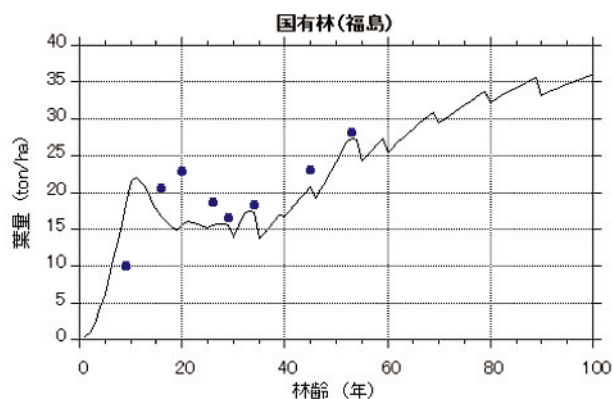


図5 シミュレーションと測定による林分葉量の変化
●：測定葉量、実線：計算葉量

イイ4a 森林流域からの窒素流出の広域評価

背景と目的

近年、森林域の渓流水をはじめとする水質の保全に対する国民の関心が高まっている。2002年には新たに規制物質として窒素、リンを加えた「第5次総量規制」が策定されるなど、水質保全に関する研究への社会的・行政的ニーズが大きいことから、農林水産業においても森林・農地・水域を通じた自然循環機能の向上を通じて、環境と調和した持続性の高い生産活動を行うことが求められている。そのため、森林・農地・水域を通じて、窒素を中心とする自然循環機能を解明する一環として、森林域全体の土壌窒素貯留量の広域分布を明らかにし、渓流水を通じて流出する窒素の広域評価を行うことが求められている。

ここでは、矢作川流域を対象として、森林域での窒素貯留量分布、硝酸態窒素生成量の広域評価についての研究成果を示す。

成果

矢作川流域の森林域で既往の調査データを収集、整理するとともに、植生、林相、土壌型、地形などのデータを基にして、矢作川流域の森林を上流部から中流部の森林を適潤性土壌に生育するマツ林（適潤性マツ林）、斜面中下部のスギ・ヒノキ人工林（適潤性スギ・ヒノキ林）、尾根付近・斜面上部のスギ・ヒノキ人工林（弱乾性スギ・ヒノキ林）、カラマツ林、および天然広葉樹林の5つに区分し、中下流域をクロマツ林、アカマツ林、尾根地形部の広葉樹林、および谷地形部の広葉樹林の4つに区分した。それぞれの森林タイプごとの窒素貯留量は、表-1のとおりであった。この結果に基づいて、矢作川流域全体の森林について、深さ

1mまでの土壌窒素貯留量分布図を作成した（図-1）。対象流域内の植生や立地環境条件が異なる森林において採取した土壌試料を用いて、室内実験で硝酸態窒素生成量を測定した。硝酸態窒素生成量を推定するモデルを作成するため、関連すると考えられる要因を検討し、土壌型、斜面方位、森林を構成する樹種、標高、斜面位置の5要因を説明変数として抽出した。これら5つの説明変数を用いて、精度良く実測値を予測できる数量化モデル（決定係数 = 0.84）を開発した（図-2）。さらに、モデルによる硝酸態窒素生成量の推定値を用いて流域内の森林土壌の硝酸態窒素生成量の分布を明らかにした（図-3）。

成果の利活用

得られた研究成果の一部は、平成17年には、愛知県名古屋市において開催された「矢作川流域に自然の循環機能を探る」と題する研究発表会などにおいて報告され、県、地方行政担当者、地域住民等へも広く公

開した。矢作川水系の森林・農地・沿岸水域の窒素等の自然循環機能の高度な利用を行うための施策に活用される。

主な発表文献

伊藤江利子・小野賢二・今矢明宏・鹿又秀聡 2004 流域スケールにおける森林土壌からの窒素流出ポテンシャルの推定・森林立地 46: 77-84

担当：荒木誠・伊藤江利子・小野賢二（立地環境・土壌資源研）、森貞和仁（立地環境・温暖化物質チーム長）、大貫靖浩・今矢明宏（九州・生態系研究グループ）、服部重昭・竹中千里（委託：名古屋大）

表1 矢作川流域の森林タイプ別面積と土壌窒素貯留量

森林タイプ	面積 (ha)	面積率(%)	土壌窒素貯留量 t/ha
適潤性マツ林	7,836	5.8%	8.8
乾性マツ林			
クロマツ	10,763	8.0%	3.2
アカマツ	15,036	11.2%	0.9
適潤性スギヒノキ人工林	27,869	20.7%	11.9
乾性スギヒノキ人工林	39,373	29.3%	6.4
カラマツ林	2,661	2.0%	9.7
適潤性広葉樹林	22,851	17.0%	16.2
乾性広葉樹林			
尾根部	5,241	3.9%	2.7
谷部	2,864	2.1%	3.5
総面積	134,494	100.0%	

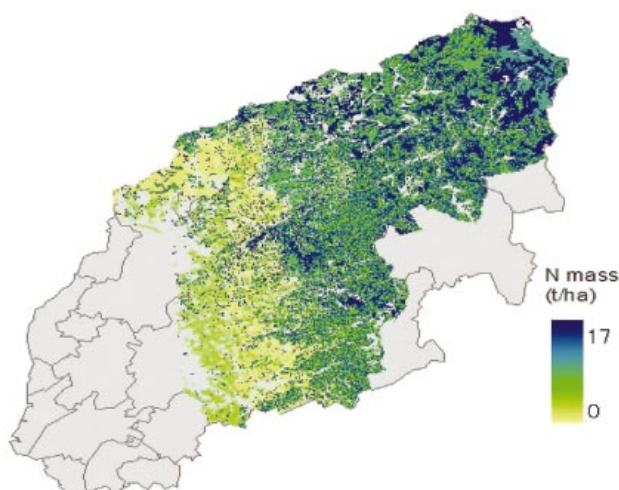


図1 森林土壌の窒素貯留量分布図

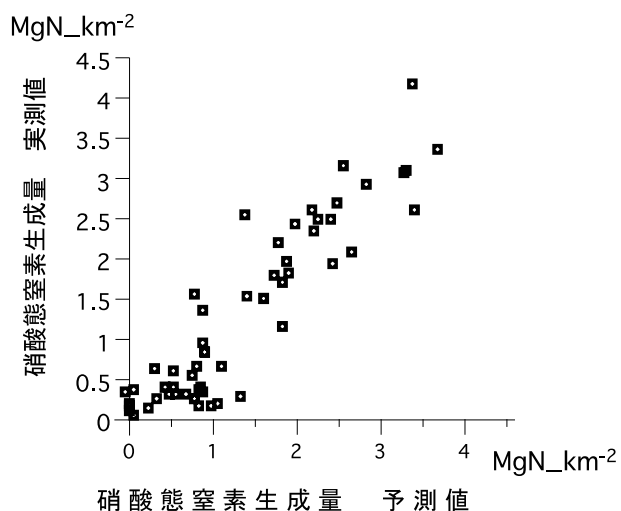


図2 硝酸態窒素生成量（予測値と実測値の比較）

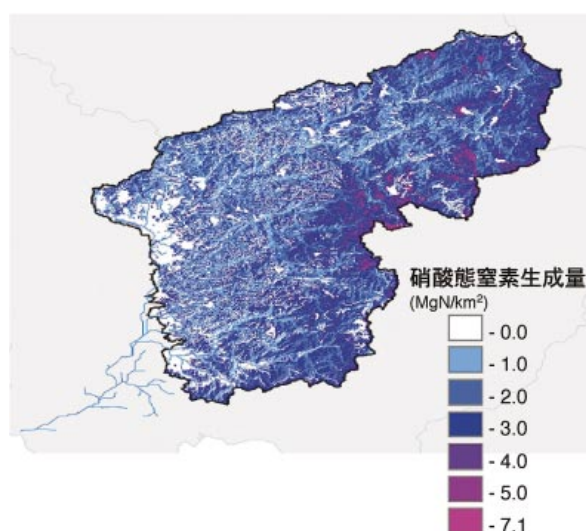


図3 森林土壌の硝酸態窒素生成量分布図

イイ4b 間伐による森林小流域からの窒素流出量の変化

背景と目的

国内の森林面積の約40%を占める人工林では早急な間伐の実施が求められている。間伐による林相の変化は、窒素の動態ならびに循環過程を変化させると予測されるが、個々の過程における窒素動態の変動や流出する渓流水の水質に与える影響については、ほとんど明らかにされていない。ここでは、茨城県中部の森林小流域において実施した間伐による植物による窒素の吸収、土壌微生物による窒素無機化の変化、ならびに流域からの窒素の流出量の変化についての結果を示す。

成果

茨城県城里町の茨城森林管理署管内北山国有林の約2.3haの小流域に桂試験地を設置した。桂試験地は斜面中・下部の約1.0haが約40年生スギ人工林、それ以外の部分がアカマツをまじえた落葉広葉樹二次林であり、2003年12月にスギ林において、本数率33%、材積率25%の間伐を実施した（写真1）。伐採木は集材せずに林床に放置した。間伐をはさんだ2003年1月から2005年12月までの期間、樹木の窒素増加量、落葉落枝による還元量、樹木による吸収速度、土壌における窒素の現地無機化量を測定した。流域における窒素の流入量・流出量は2001年より測定した。また、間伐後1年目の2004年には顕著ではなかったが、2年目の2005年には間伐した林分で草本が繁茂した。そのため、間伐した林分と隣接する未間伐の林分において、2005年9月に草本中の窒素現存量を計測した。

樹木による窒素の吸収速度は、間伐によってほぼ材積間伐率とほぼ等しい率で低下し、流域としては窒素吸収量が約14kg低下した（図1）。一方、草本中の窒素現存量の比較から、流域としては約5kgの窒素

が間伐後に繁茂した草本に吸収されていた（図2）。窒素の無機化量ならびに無機化率は間伐前後で顕著な差は認められなかった（図3）。流域からの年窒素流出量は間伐前の2003年に比べて間伐後の2004年には3.7kg増加したが、2005年には2003年のレベルまで低下した（図4）。降水による窒素流入量が2004年に特に高い傾向を示してはなく、むしろ2005年に高い流入量を示した。このことは2004年における年窒素流出量の増加が、降水による窒素の流入量の増加によるものではないことを示している。

これらの結果から、桂試験地においては間伐後1年目に土壌の窒素無機化量は変化しなかったものの、樹木による吸収が間伐率に見合って低下したために窒素流出量が増加したと考えられる。また、間伐後2年目には樹木による吸収速度は依然として低下しているものの、光環境が良くなったために林床植生の生育が盛んになった。これにより吸収量の減少によって過剰になっていた土壌中の無機態窒素が林床植生に一時的に吸収され、結果として窒素流出量を間伐前のレベルまで低下させたと考えられる。

成果の利活用

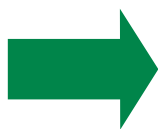
間伐による渓流水質の変化とそのメカニズムを日本で始めて定量的に解析した研究であり、森林管理のた

めの施業による環境変化の予測に活用される。

主な発表文献

Yoshinaga, S., Abe, Y., Tsurita, T. and Aizawa, S. Increased nitrogen export due to forest thinning in a small forested catchment in Japan. Water, Air and Soil Pollution(投稿中)

担当：吉永秀一郎・相澤州平・釣田竜也（立地環境・土壌特性研究室）野口享太郎・平井敬三・森下智陽（立地環境・養分環境研究室）山中高史（微生物・微生物生態研究室）阿部俊夫（水土保全・水保全研究室）高橋正通（立地環境研究領域長）



間伐
33% (本数)
25% (材積)



間伐前 (2003年5月)

間伐直後 (2004年1月)

間伐後1年半後 (2005年5月)

写真1 桂試験地における間伐前後の林相
間伐後1年半後には林床植生が間伐前に比べて繁茂している。

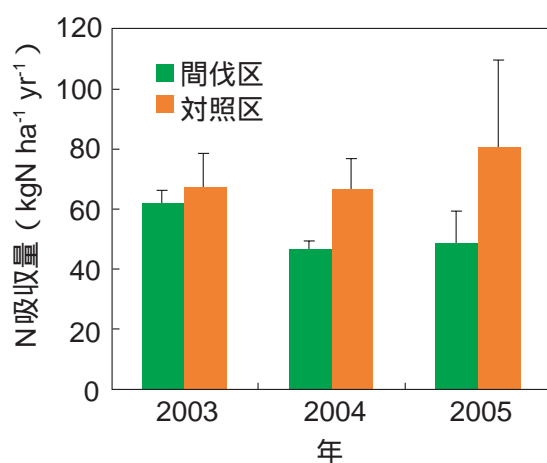


図1 樹木窒素吸収量の変化
間伐区で間伐率に見合った低下が認められる

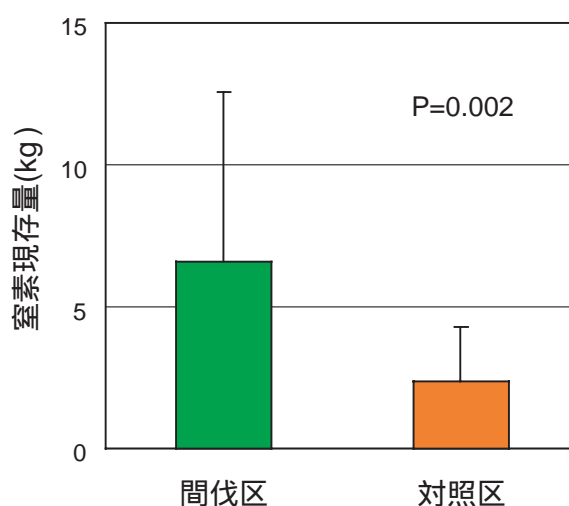


図2 間伐後の草本中の窒素現存量
間伐区が対照区よりも草本に4.2kg多くの窒素を吸収して、流出を抑制している。

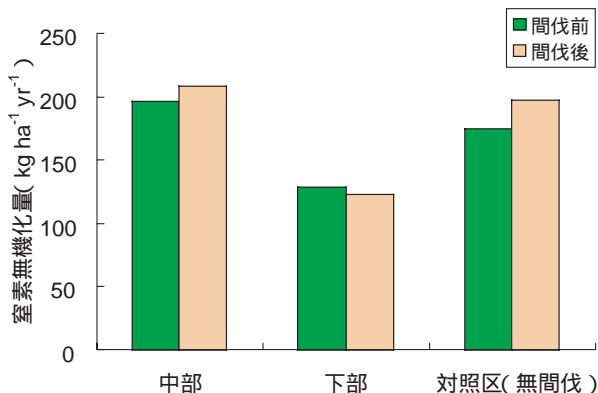


図3 現地窒素無機化量の変化
間伐前後で大きな変化は認められず、また、変化傾向も一定ではない。

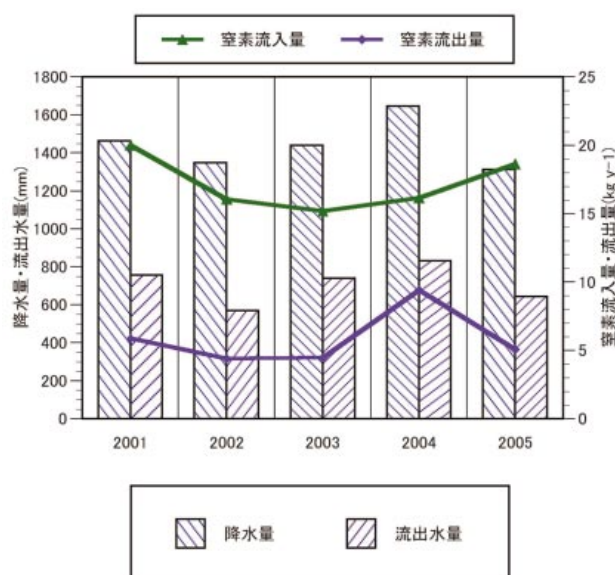


図4 窒素流入量・流出量の変化
2004年に特異的に窒素流出量が増加し、2005年にもとのレベルまで戻る。

イイ5a クロマツ海岸林の本数調整指針

背景と目的

海岸地帯では、古くから海岸林を造成することによって飛砂害を防止し、内陸側の生活・生産環境を保全してきた。しかしながら、造成された海岸林は必ずしも安定的に存続するわけではない。マツ材線虫病による松枯れ以外にも、海岸林海側での飛砂の抑制が十分でない場所では、移動してくる砂で海岸林が埋没・枯死する現象に脅かされている。また、海岸林の造成では一般に10,000本/ha程度の密植が行われるので過密になりやすいが、ほとんどの海岸林では本数調整のタイミングが遅れたために枝が枯れ上がり、樹高に比べて幹の細い、いわゆる過密林型が多くなっている（写真1、図1）。本数調整は、海岸林管理技術者のもっとも頭を悩ませている問題でありながら、各地で試行的に行われているだけで体系だったものがなく、技術的な整理が求められていた。そこで、海岸林の本数調整に関する研究成果として作成した本数調整手順を紹介する。

成果

過密前の林分では伐採搬出作業を効率的に行うために列状伐採、それも扱いやすい1伐3残の列状伐採（3列おきに1列伐採する方法）を行う（図2）。1伐3残の列状伐採を実施すると残存本数は7,500本/haとなる。相対密度管理表（小田1984）で7,500本/haに対応する胸高直径を求め、目標形状比から樹高を算出すると、樹高が3mに達した時点が初回伐採の時期となる（表1）。同様に2回目の伐採では3残の中間列を伐採するので樹高3.5mが実施時期となる。以後、樹高が4mに達した段階では、先の伐採と直交する形での1伐3残の列状伐採、樹高が6mに達した段階でその中間列を伐採する。伐採列に、将来に残したい立木がある場合にはそれを残し、代わりに隣接木を伐採するなど、臨機応変に対応する。以後は、樹高

が10mに達するまでは1mおき、10mからは2mおきに、その時点での仕立て本数に合わせて、仕立て木の成長を妨げている立木を伐採する。

本数調整伐が遅れた過密林分では、自然間引きで本数が減り個体間の優劣が大きくなっているため、列状伐採は適当ではない。そこで、最終仕立て木を選出し、その成長を妨げている立木を伐採し、妨げていない立木は残す手順をとる（図3、4）。

最終仕立て木は、成長状態のよい個体を優先し、立木配置を考慮して選定する。具体的には、胸高直径、樹冠の広がりを指標に判断する。基本的に胸高直径の大きい個体を残すことになるが、胸高直径だけで判断して一律に伐採すると、伐採する必要のない個体を伐採したり、競争が緩和されない箇所が生じる。

成果の利活用

残された植栽木への風当たりが強くなることを防ぐために、林冠高が2.5m未満の部分ならびに林縁の2～3列を残すこと、また、仕立て本数の算出に必要な

相対密度管理表は、地域ごとに確かめた上で適用することが必要となる。

主な発表文献

坂本知己ほか（2002）海岸林における本数調整方法の試案．海岸林学会平成14年度研究発表会要旨集，32-33

坂本知己ほか（2003）壮齡クロマツ海岸林の現況と本数調整方法の検討．日本海岸林学会平成15年度研究発表会要旨集，29-30

坂本知己ほか（2005）クロマツ海岸林における本数調整手法の考え方．韓国海岸林学会日本海岸林学会共同学術大会論文集－海岸林の多面的機能増進と活用法案－，145-146

担当：萩野裕章・野口宏典（気象害・防災林研究室）、坂本知己（気象環境研究領域・チーム長）



写真1 過密クロマツ林
幹が細く枝が枯れ上がっている

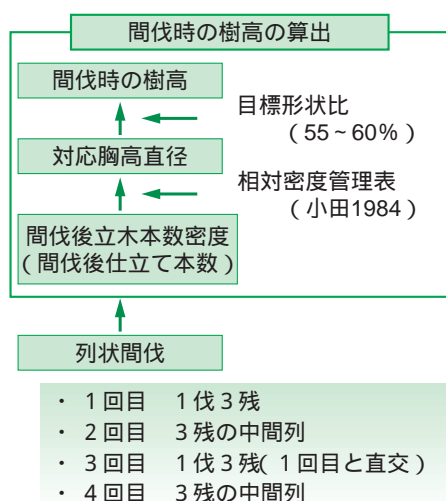


図2 本数調整手順（過密前林分）

- 4回目までは列状伐採を基本とする。
- 本数調整の対象外となるのは、林縁2～3列と林冠高が2.5 m未満の部分（これは、過密林分も同様）。

表1 本数調整例（過密前林分）

10,000本/ha植栽時						
林冠高 m	伐採内容	残存本数 本/ha	伐採率 %	最終樹高・密度 樹高 m 本数 本/ha	調整 伐採率 %	
2.5～3.0	列状間伐	1伐3残	7,500	25		
3.5		3残の中間列	5,000	33	4	4,125
4.0～4.5		1伐3残(直交列)	3,750	25	5	2,904
5.5		3残の中間列	2,500	33	6	2,180
6.5～7.0	定性間伐		1,875	25		
7.5～8.0			1,406	25	9	1,152
9.5			1,055	25		
11.0～11.5			791	25		
13.5～14.0			593	25		

調整伐採率：残存本数と最終仕立て本数との差を伐採したときの割合

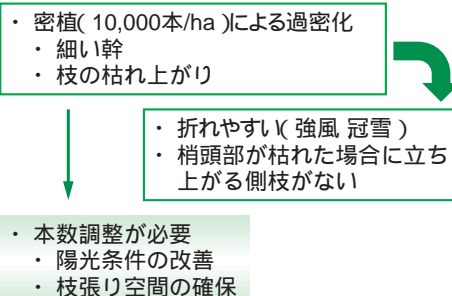


図1 本数調整の必要性

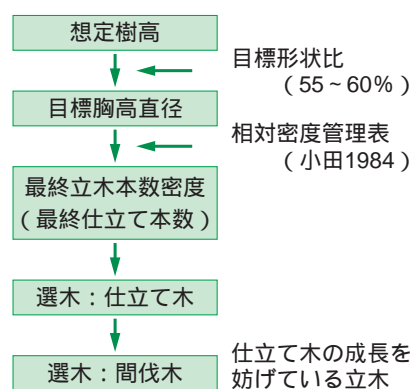
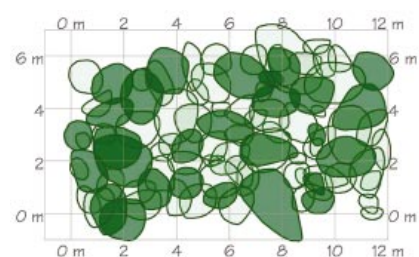
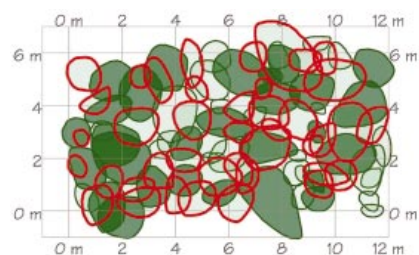


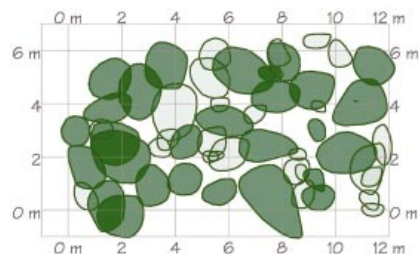
図3 本数調整手順（過密林分）



1. 選木：将来仕立て木（濃色）



2. 選木：間伐木（赤枠）



3. 間伐後（39本伐採）

図4 本数調整例（過密林分）

イイ5b 森林微気象と二酸化炭素フラックス

背景と目的

森林と大気との間でやりとりされる、運動量、顕熱、潜熱（水蒸気）、二酸化炭素などは、森林群落内外に形成される乱流によって輸送される。また、樹木や土壌など、森林を構成する要素は、熱や物質のシンク・ソースを形成し、大気との交換・輸送過程を通じて森林による気候形成に大きな影響を及ぼしている。このような過程の理解を深めることで、森林の熱収支や二酸化炭素収支に関する観測研究（タワーフラックス観測；図1）の観測・解析技術が向上するとともに、森林微気象やフラックスの高精度予測モデルを開発することが可能になる。このような背景の下、森林群落内の微気象を対象とした観測研究と数値モデルによる解析から、森林群落内における熱・CO₂の輸送過程を解明することを目的に研究を行った。

成果

森林群落内外の乱流の時間・空間変動を比較的精密に再現することのできるLarge eddy simulation (LES)モデルを開発して数値実験を行い、群落内外に形成される乱流の空間構造や形成メカニズムに関する解析を行った。その結果、乱流の形成には従来説と異なるメカニズムが関与していることが明らかとなった（図2）。また、熱収支インバランスの原因の一つとして、1地点での乱流計測では、時間的な変動が少なく空間スケールの大きな渦による輸送量を捉えられないという問題が関与していることが分かった。

また、川越森林気象試験地において、森林群落内外で微気象学的な観測を行うとともに、チャンバ法によ

る土壌からのCO₂放出速度測定で用いるCO₂濃度計のデータ補正法を確立した。チャンバ法によるCO₂放出速度測定結果について、地温、土壌含水率の影響を解析し、年間の林床面CO₂放出量の推定を行った（図3）。

さらに、札幌森林気象試験地の積雪期において、詳細な積雪観測により積雪の状態を把握しつつ、改良された濃度拡散モデルにより積雪表面からのCO₂放出量を長期連続算定した（図4）。チャンバ法と濃度拡散法による雪面からのCO₂フラックスを比較した結果、積雪表面CO₂放出量の長期連続測定には濃度拡散法が有効であることが分かった。

成果の利活用

森林群落内外の熱・CO₂の輸送過程に関する観測研究とモデル開発・解析を行い、基礎的な研究成果を学会誌に発表した。この課題による基礎的な研究によって得られた、熱・CO₂の輸送過程に関する新たな知見を、

応用研究とくに森林群落の二酸化炭素収支などのプロジェクト研究における収支推定精度の向上に活用した。

主な発表文献

溝口康子・大谷義一・渡辺 力・安田幸生・岡野通明 2003: 自動開閉型チャンバを用いた林床面CO₂フラックスの長期連続観測. 日本生態学雑誌 53: 1-12

鈴木 覚・中井裕一郎・北村兼三 2001: 落葉広葉樹林における積雪期のCO₂放出量. 北海道の雪氷 20: 81-84.

Watanabe, T. 2004: Large-eddy simulation of coherent turbulence structures associated with scalar ramps over plant canopies. Boundary-Layer Meteorology 112: 307-341

安田幸生・渡辺 力・大谷義一・溝口康子 2005: 渦相関法によって生態系呼吸速度を評価する際の問題点 間欠的な乱流状態下での摩擦速度補正について. 農業気象 61: 177-187

担当: 大谷義一・渡辺 力・溝口康子・安田幸生（気象環境・気象研究室） 岡野通明・鈴木 覚（気象環境・気象害・防災林研究室） 中井裕一郎・山野井克己・北村兼三（北海道支所・寒地環境保全研究グループ） 宇都木玄（北海道支所・チーム長）・飛田博順（北海道支所・植物土壌系研究グループ） 丸山 温（企画調整・企画室）



富士吉田森林気象試験地
(アカマツ林)の観測タワー

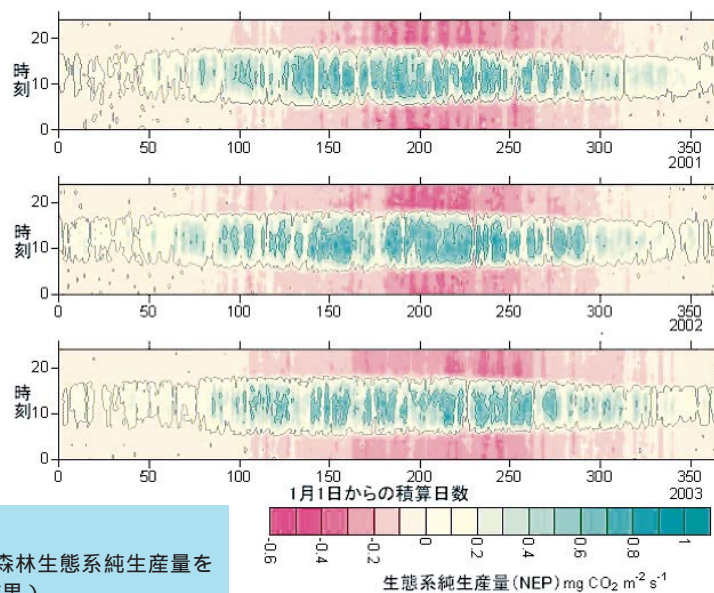


図1 タワーフラックス観測
二酸化炭素フラックス観測を行い、森林生態系純生産量を求める(富士吉田アカマツ林の観測結果)。

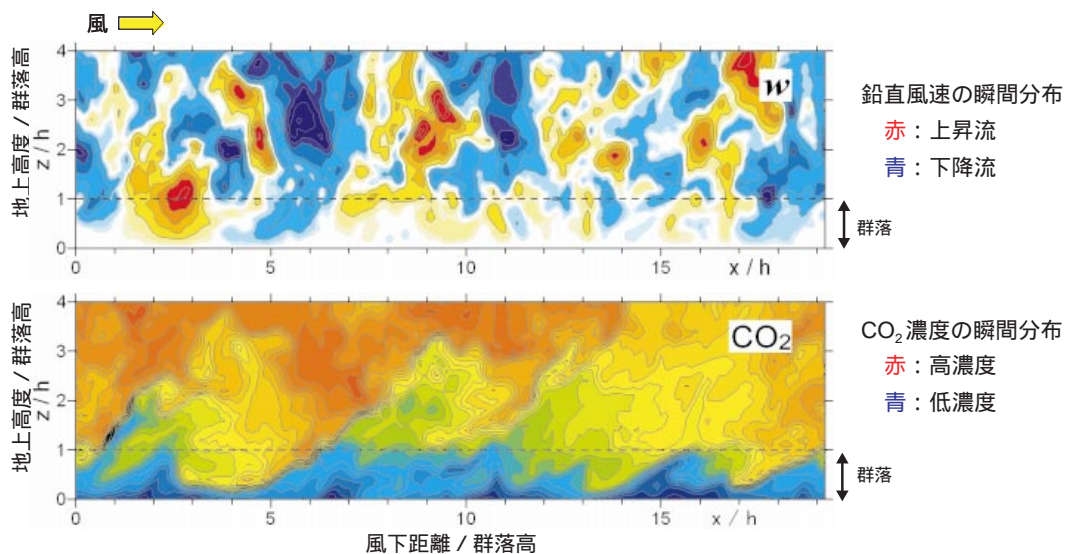


図2 LESモデルによって再現された森林群落内外の乱流とCO₂分布

上空からの大規模な下降流(上図の青い部分)が群落に侵入すると、群落の上端付近に渦が形成される。このとき、群落内の低濃度のCO₂が上空へ、群落外の高濃度CO₂が下方へそれぞれ輸送される。

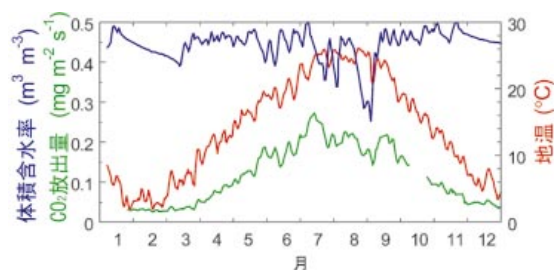


図3 川越試験地における林床面CO₂放出量と地温、土壌の体積含水率の関係
自動閉鎖型チャンバ(写真)による林床土壌面CO₂放出量の連続測定結果と川越試験地における林床面CO₂放出量に影響する要因を示す。

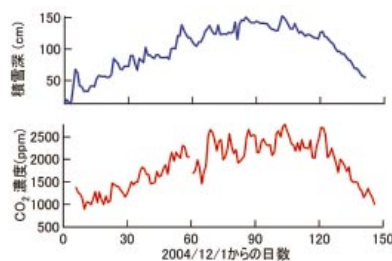


図4 札幌試験地で観測された積雪深の増減にともなうCO₂濃度の経時変化
積雪内に埋設された小型CO₂濃度計を用いて測定された、積雪内のCO₂濃度の経時変化を示す。このデータから濃度拡散法によってCO₂放出量を推定し、チャンバ法(写真)の結果と比較した。



イイ5c 積雪地域の森林流域で環境保全機能を解明する

背景と目的

東北地方には、降水条件（積雪深等）、施業履歴（天然林、人工林等）などの異なる多様な森林が分布している。森林の環境保全機能が注目されるなか、このような東北地方の森林において、環境保全機能（水・土保全、気候緩和など）に關与する環境特性の調査、解析を行い、森林流域の環境保全機能を定量的に評価するための手法を開発することが求められている。そこで、本課題では積雪地域の様々な利用形態の森林を含む流域において、流域の環境保全機能に關与する個々の森林の立地環境特性（土壌、気候等）および水・土砂流出特性、硝酸態窒素の流出特性を解析し、それぞれの側面から、環境保全機能の評価、解明を行った。

成果

姫神酸性雨等モニタリング試験地（岩手県盛岡市）と釜淵森林理水試験地（山形県真室川町）で渓流水の流量と水質との関係を解析し、冬季間に積雪中に貯留されていた硝酸態窒素が融雪期に集中して流出するなど、積雪地域に特有の養分流出特性を解明した（図1）。また、樹種、林分密度などの異なる複数の林分（岩手県盛岡市、山形県真室川町、岩手県八幡平市など）で林内微気候（気温、相対湿度、日射量など）の観測と全天空写真の撮影とを行い、両者の関係を解析して、簡便な関係式により林内気温などの林内微気候が推定

できることを明らかにした（図2）。さらに、釜淵森林理水試験地では流出水量と流出土砂量を解析し、流域からの水・土砂流出を推定するための基礎モデルを作成、改良した（図3）。また、北上山地（岩手県盛岡市の早坂高原）の風衝荒廃地及び緑化試験地で地温、地熱流束、凍上量の観測を行い、緑化によって地表面付近の温度環境が緩和され、地表面の冷却が抑制される等の微気候緩和効果があることを、熱収支の観測結果から評価、解明した（図4）。

成果の利活用

積雪地域の森林流域の持つ環境保全機能のなかで、渓流水質の保全機能については、硝酸態窒素の流出特性など、水質保全に関わる広域評価の基礎となる重要な観測結果を得た。また、森林内部の微気候緩和機能については、全天空写真画像を解析して林内の微気候を簡便に推定、評価する手法を開発した。さらに森林による水土保全機能については、本課題で作成した

水・土砂流出基礎モデルを用いることにより、パラメータを実態に適合させて流域間比較を行うなどの手法で、森林流域の環境（流砂系）保全機能を評価することができる。また、風衝荒廃地の緑化による地表面保全機能については、地表面付近の熱収支特性を観測し、評価する手法を提示した。

主な発表文献

齋藤武史 2002 林内気温と開空度との関係の季節変化 - 森林総合研究所東北支所構内における観測例 - . 東北森林科学会誌 7(2): 65-68

志知幸治・橋本徹・三浦寛・相澤州平・池田重人 2005 東北地方内陸部の森林流域における年間および融雪期の渓流水質, 日本森林学会誌 87: 340-350

担当: 齋藤武史(東北・チーム長)、三浦寛・野口正二・橋本徹・村上亘・志知幸治(東北・森林環境研究グループ)、藤枝基久(東北・研究調整官)、大原偉樹(東北・森林生態研究グループ)、細田育広(関西・森林環境研究グループ)、池田重人(立地環境・チーム長)、相澤州平(立地環境・土壌特性研究室)、北田正憲(企画調整・地域林業室)、岡本透(企画調整・木曾試験地)

森林流域における環境保全機能

水土保全機能(水質保全、侵食抑制など)

気候緩和機能

積雪地域での観測と解析

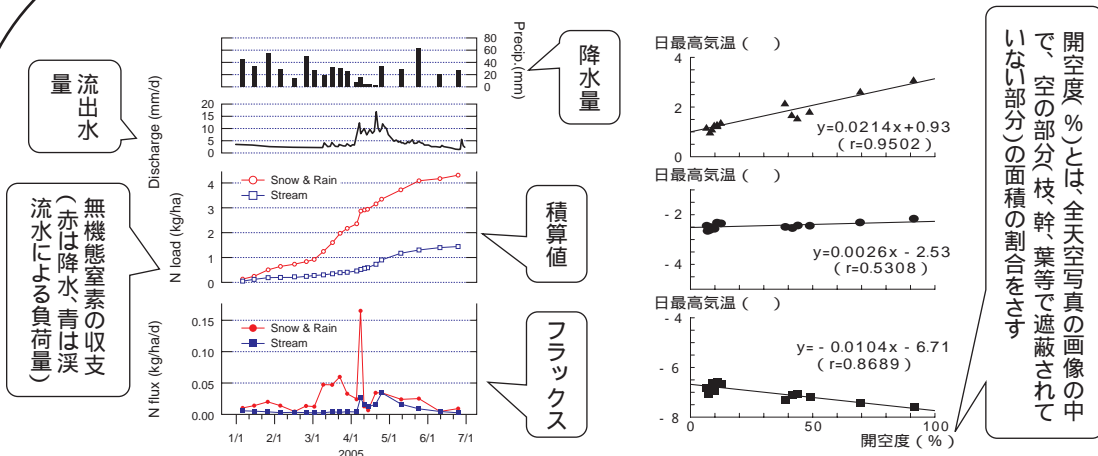


図1. 積雪地域の森林流域における硝酸態窒素の収支

積雪地域では、冬季間に積雪中に貯留された硝酸態窒素が融雪期に集中して流出する。

図2. 積雪地域の森林内で撮影した全天空写真の開空度と林内気温との関係
開空度から林内気温を推定する。

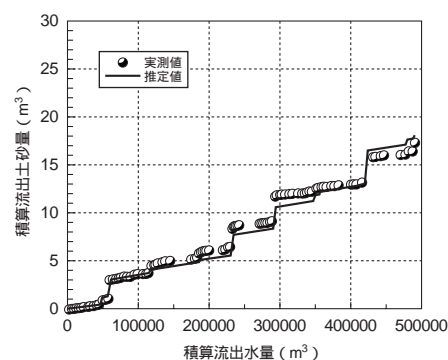


図3. 水・土砂流出基礎モデルを用いた掃流砂量の推定

森林流域の環境(流砂系)保全機能を、モデルを用いて推定する。

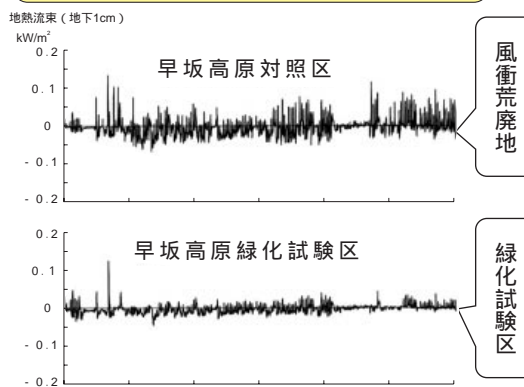


図4. 北上山地の風衝荒地における地表面付近の熱の流れ

風衝荒地(对照区)を緑化することにより、地表面付近の温度環境が緩和される。

森林流域における環境保全機能を解析し、評価する

イイ6a 溪畔林の保全・造成と機能評価手法の開発

背景と目的

森林に対するニーズが多様化・高度化するにつれて、治山事業においても溪畔域における動植物の生育環境の保全や景観保全への配慮を求められている。しかしながら、これまでの治山事業は土砂害の防止を主要な目的としており、新たな要請に対する手法は確立されていない。このような背景を受けて、今後推進される溪畔域の保全を考慮した治山施設の整備ならびに溪畔林の取り扱いや造成に資するために、溪畔域という場に対する認識を高めることと、その機能の評価手法を開発するための研究を行った。

成果

植生から見た微地形の区分

溪畔林は溪流の土砂移動や冠水等の影響を強く受けて成立・更新している。治山事業は土砂移動が災害に結びつかないように溪流に工作物を配置するなどして、土砂移動を制限している。災害に結びつく土砂移動と、溪畔林に影響を与える土砂移動は必ずしも一致しない。そこで、植生の視点からどのような土砂移動を重視する必要があるか見直すこととした。その結果、土砂移動の結果形成される溪床微地形を次のように区分することを提案した。すなわち、溪畔域の谷底面を、毎年冠水する低位谷底面、100年スケールで何度か冠水する中位谷底面、100年スケールでは離水している高位谷底面に区分した（図1）。低位谷底面では木本は定着せず、高位谷底面では寿命が100年以内の先駆的な樹種が淘汰され、安定した林相に移行する。中位谷底面では、長命な種と短命な種が入り交じる。さらに、堆積面の粒径のちがいが木本種の出現状況の差をもたらしていると考えられた（図2）。

貯砂堰堤の影響

治山ならびに砂防堰堤（貯砂堰堤）がもたらす土砂移動によって、堰堤周辺が植生の生育環境上どういう場になるのかを、図1で示した微地形区分によって解析した。堰堤堆砂域では中位谷底面が広く形成される一方で、高位谷底面はほとんど見られず、逆に、堰堤建設前にあった高位谷底面が建設後の溪床の上昇によって中位あるいは低位谷底面になる場合が確かめられた。また、堰堤の下流側および堰堤の影響のない区間では低位、中位谷底面は流路沿いの狭い範囲に限ら

れ、高位谷底面が広く形成されることを明らかにした。さらに、堰堤堆砂域では、出水による溪床変動後に、微地形の配置は変わっても、各地形面の占める割合は出水前とほとんど変化していないことを確認した（図3）。
溪畔樹種の更新の場

溪畔林樹種は、世代交代のために樹種特性に応じた更新の場を必要とする。例えばハルニレは、河川で運ばれてきた土砂が堆積しやすい谷幅が十分に広がった谷底や谷の出口のような場を必要とする。しかしながら、このような場は土地利用されやすく、ハルニレの本来の更新の場は失われてきたと考えられる（図4）。一方で、堰堤堆砂域では砂礫の堆積が進み、その過程で、溪畔林の成立していない河道や低位・中位の谷底面に新しい堆積面が形成されやすい。そのような堆積面にハルニレの実生が集中して発生していることを確認した。その後の実生の生残には、破壊的な攪乱を受けないことが重要であった。平坦な溪畔域に堆積面が順次形成されていくことで、林齢の異なるパッチ構造をとることを明らかにした。

溪畔林造成

治山事業の展開、あるいは土地利用によって本来の溪畔植生が失われた時、人為的に復元する必要があることがある。そこで、溪畔林造成指針を作成した。既存の研究成果のレビューから、溪畔林樹種は種子発芽、定着、成長の生活史をとおり、溪流域の攪乱体制と密接な関係を持っていること、また、室内実験から溪畔樹種の耐滞水性が強いことを明らかにした。さらに、植栽木の生存率は、流路の中央部から離れるに

したがって高く、堰堤堆砂域や下部斜面は出水に伴う土砂移動の影響が大きく、生存率が低いことを確認した。ダム堆砂域では、植栽当初は速い樹高成長を示していた個体も徐々に成長速度が遅くなり、高い地下水位の影響が考えられた。植栽場所の環境は、植栽木の成長に著しい差をもたらした。例えば、乾燥した盛土法面のサワグルミ・カツラ・ミズナラは成長量が多いのに対して、シオジ・トチノキは成長量が小さく、生存率も低かった。これらのことは、河畔林復元にあって樹種選定が重要であることを示す（図5）。これらの知見に基づいて、植栽樹種の選定方法、植栽箇所の選定、植栽方法などを示した。なお、河畔林を復元・保全する場の選定では、後述する河畔林の機能に関する知見が活かされる。

流出土砂に対する緩衝機能

伐採跡地斜面での実験で、堆積リターは土壤侵食の営力となる地表流の速度を減少させ、地表流水の土壤中への浸透を促進させていること、また、リター層が土砂等の流出を抑制していることを明らかにした。実験では、流水へのリターの接触面積が大きい広葉樹の方が地表流の速度が遅くなり、濁水濃度の低減効果はスギよりも広葉樹の方が大きいことや、流量が少ないうちは、表流水が土壤へ浸透するためにリターの有無による流速の違いはほとんど見られないが、流量が大きくなるに従ってリターの有無による流速の違いが大きくなることを明らかにした。これらの結果から、リター層による土砂流出緩衝機能を説明でき、流入する濁水や緩衝帯の地表状態、林帯幅等が決まれば、林帯下端から流出（溪流へ流入）する浮遊土砂量を推定できるようにした（図6）。

水温上昇を緩和する機能

水の熱収支式を基にした渓流水温推定モデルによる推定値と実測値を比較・検討し、地下水の影響等をモデルに組み込むことにより、モデルの実用化を図った。また、被覆状況を与えて推定した純放射量を用いることにより、被覆状況をモデルに組み込み、被覆状況が変化した場合の水温の推定が可能になった。このことで河畔林の伐採が水温に与える影響の予測が可能になった（図7）。

有機物を供給する機能

ブナ・コナラ自然林、スギ人工林とも、付着藻類の年生産量は、リター供給量に比べるとはるかに少なかった。ブナ・コナラ自然林の溪流では、ほとんどの動物がエサ資源をリターに強く依存していた（図8）のに対し、スギ人工林の溪流では一次消費者の多くで藻類の影響も認められた。この結果の違いは、スギ落葉が、広葉樹落葉に比べてエサ資源としての質が低いことを間接的に示唆していると考えられた。

葉が樹冠より落下する際の最大到達距離は、クリでは25mであり、大半は15m以内に落ちた。開発したモデルは、適切な風速データがあれば、実測結果をほぼ再現することができ、落葉の90%が落下する距離は15m以内という結論が得られた（図9）。林床での落葉移動距離は、落葉模型を用いた実験では、一冬に0～13mと同じ林分でも場所により大きく異なった。重回帰分析の結果、移動速度の違いは、斜面方向の風速と林床植生の被度、斜面傾斜によって説明された。また、模型と9樹種の落葉の移動速度を比較計測し、模型の回帰式と組み合わせることで、落葉の移動速度を推定することが可能となった。

主な発表文献

- 村上亘・島田和則（2005）堰堤建設に伴う河畔域の地形変化と成立する樹木、森林総合研究所東北支所研究情報5（3）
 松井琢郎・落合博貴（2005）勾配可変水路を用いたリター層による濁水のろ過実験、日本森林学会関東支部論文集 56
 野口宏典・坂本知己（2005）流下方向の被覆変化が渓流水温に与える影響、日本森林学会関東支部論文集 56
 阿部俊夫ほか（2006）モデルによる河畔域の落葉散布パターンの評価、応用生態工学 8(2)
 Sakio, Hitoshi (2005) Effects of flooding on growth of seedlings of woody riparian species. Journal of Forest Research 10 (4)
 担当：阿部俊夫（水土保全・水保全研究室）落合博貴・大倉陽一・松井琢郎・市川裕子・岡田康彦（水土保全・治山研究室）坂本知己（気象環境研究領域）島田和則・萩野裕章・野口宏典（気象環境・気象害・防災林研究室）村上 亘（東北・森林環境研究G）野宮治人（九州・森林生態系研究G）崎尾 均・森田 厚（埼玉県）

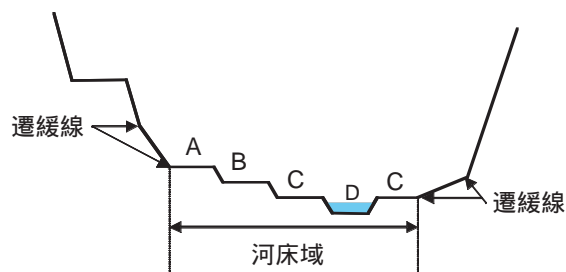


図1 谷底面の区分の概念図
A：高位谷底面，B：中位谷底面
C：低位谷底面，D：水路

	低位谷底面	中位谷底面	高位谷底面
		上層 - 中・下層	
基本パターン	木本は定着せず	オノエナギ - サワグルミ オノエナギ ヤマハシノキ - サワグルミ ヤマハシノキ - サワグルミ サワグルミ	ケヤキを中心とした発達した林分 (冷温帯湿性林)
例外	現在の面の形成前に生育していた高木が散生することはある	流路の変化により離水した旧河道由来の面や、土砂を被って間もない面では、木本が定着していない	側方からの土砂を被った面やギャップなどでは若い群落

図2 地形区分と群落構造の関係

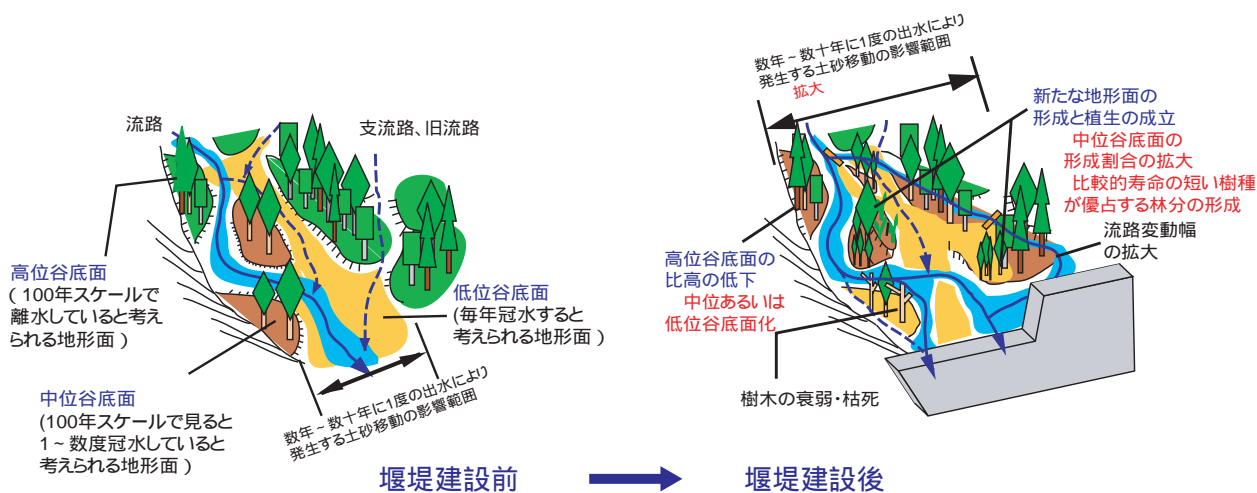


図3 堰堤建設にともなう堆砂域の地形変化の概念図

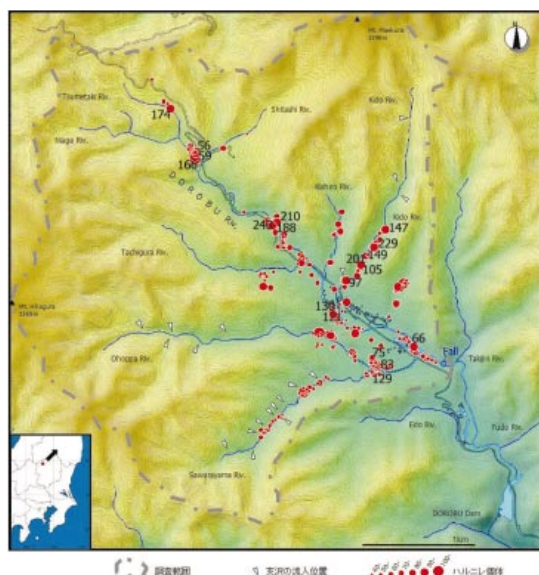


図4 栃木県栗山村土呂部地区におけるハルニレ (DBH > 40 cm) の分布 (図中の数字は樹齢)
人為的な土地利用がされる以前には、支流の下部から本流沿いの広い平坦地に、ハルニレの分布の中心があったと考えられる。

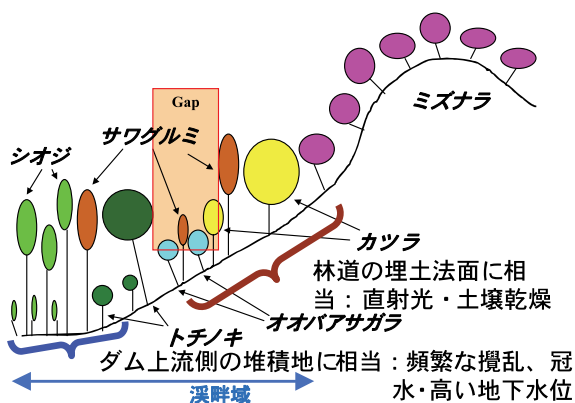


図5 溪畔林導入樹種の理想的配置図
樹種特性に応じた植栽場所を選ぶことが重要で、そのことが自然状態の溪畔域の樹種分布を復元することにつながる。

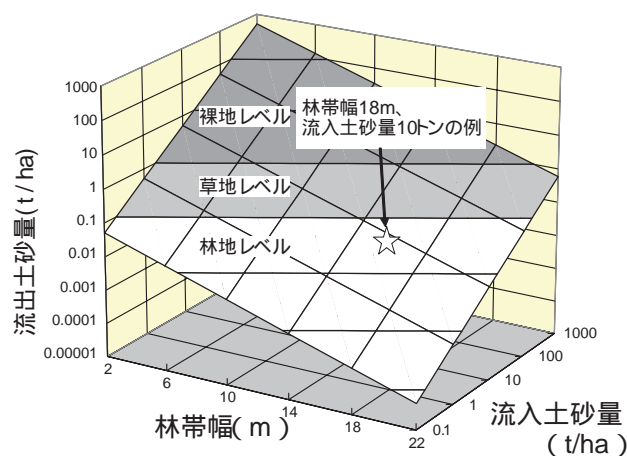


図6 土砂流出を緩衝するために必要な林帯幅
(広葉樹, 勾配5°の水路実験より推定)
広葉樹リター1000g/m²を敷いた, 勾配5°の水路実験より推定総降雨量400mm/h相当の濁水(4000ppm)をろ過する時の阻止率を用いて算出した。

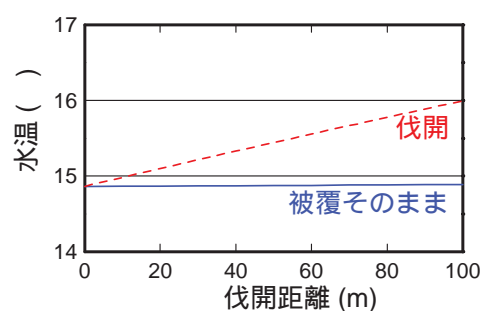
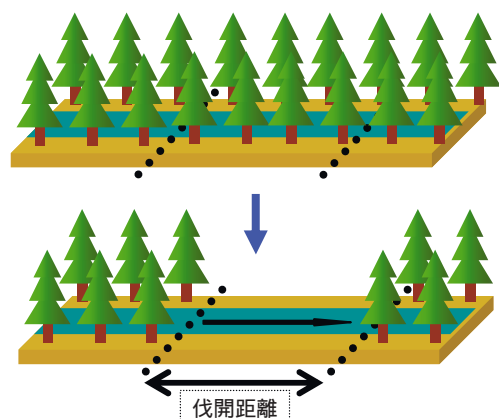


図7 被覆状況が変化した時の流下方向の水温変化を推定

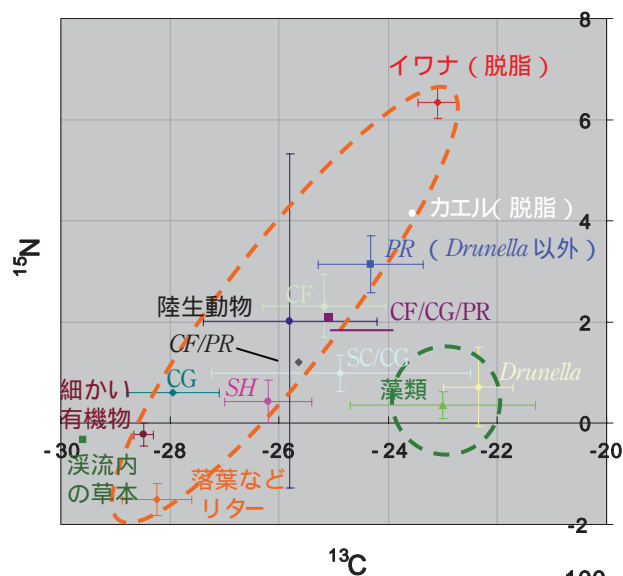
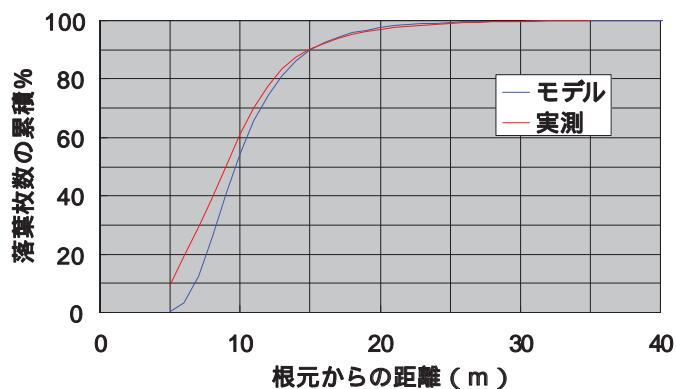


図8 ブナ・コナラ自然林の溪流における春期の食物網ダイアグラム。

SH=Shredder; CG=Collector-Gatherer
SC=Scraper; CF=Collector-Filterer
PR=Predator

安定同位体を用いて、溪流の食物網を調べた。ブナ・コナラ林の溪流では、多くの動物は、¹³C - ¹⁵N グラフ上で、落葉などのリターを起点として右上がりに連なっており、リターが食物連鎖の主な起源物質であると推察された。

図9 クリの木から斜面下方へ落下する落葉の累加曲線
(5m以上離れた地点から計算)
落葉の落下時の移動について、風速や落下速度より散布パターンの算出が可能なモデルを開発し、推定した例。



イイ6b 表層雪崩発生予測のための積雪安定度の推定

背景と目的

表層雪崩は、重力によって斜面積雪に作用するせん断応力が、この積雪を支えるせん断強度を上まわったときに生じるせん断破壊によって発生すると考えられている。そのため、雪崩の発生条件の解明には積雪のせん断強度を知ることが必要である。新潟県など本州日本海側の積雪地域では、氷点下で短時間に多量の降雪がある一方、冬期でも降雨や急激な融雪が生じることがある。一般に積雪は濡れたざらめ雪になるとせん断強度が低下するので、雨水や融雪水の浸透が雪崩の発生要因になる可能性もある。このような背景を踏まえ、乾雪に限られていた従来のせん断強度推定法を応用して湿雪のせん断強度を推定し、乾雪のみならず湿雪雪崩にも適用可能な危険度評価手法を開発することが本研究の目的である。そのため、広範囲で入手が容易なアメダス観測点の測定項目のみで運用できるように、積雪の粘性圧縮理論にもとづいて斜面積雪安定度を推定するモデルを開発した。

成果

表層雪崩の発生条件の解明と危険度の評価に必要な湿雪のせん断強度の推定方法を示した。すなわち、湿雪のせん断強度は同密度の乾雪より小さくなり（図1）、その減少率は体積含水率の指数関数で表わせることを明らかにした。この関係を用いることにより、これまで未知であった湿雪のせん断強度も含水率を考慮して密度から推定できるようになった。また、積雪深と降水量から降雪深や融雪量、密度分布を計算するモデル（粘性圧縮モデル）を開発した。これらを組み合わせることによって積雪の密度（図2）や融雪量

（図3）を計算し、せん断強度を推定して斜面積雪安定度（せん断強度とせん断応力の比）の変化を求めることができた。この過程で、含水率の増加によるせん断強度の低下を加味したことが、乾雪に限定した従来の方法にはなかった成果である。斜面積雪安定度は表層雪崩の発生危険度を判断する目安として広く使われている。そこで、雪崩が多発した年について、積雪安定度の変化と雪崩発生件数を比較した結果、安定度の推定値が低下した時に雪崩の発生件数が多くなったことが確かめられた（図4）。

成果の利活用

乾雪と湿雪双方に適用でき、アメダス観測点の測定項目だけで運用できる方法であることから、広範囲に

おいて利活用可能な雪崩危険度評価手法である。

主な発表文献

山野井克己・遠藤八十一 2002 積雪におけるせん断強度の密度および含水率依存性、雪氷、64: 443-451

遠藤八十一・小南裕志・山野井克己・竹内由香里・村上茂樹・庭野昭二 2004 降水量データから積雪深と密度を推定する方法、雪氷、66: 17-25

竹内由香里・小南裕志・遠藤八十一・山野井克己・村上茂樹・庭野昭二 2004 粘性圧縮モデルを用いた積雪安定度の推定と雪崩の発生、寒地技術論文・報告集、20: 278-283

担当：村上茂樹・竹内由香里・庭野昭二（気象環境・十日町試験地） 山野井克己（北海道・寒地環境保全研究グループ） 小南裕志（関西・森林環境研究グループ）

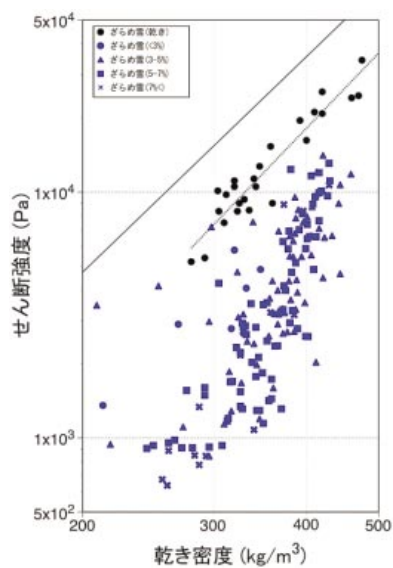


図1 ざらめ雪のせん断強度と乾き密度の関係

マークは含水率の違いを表す。 : 0 %、
: <3 %、 : 3-5 %、 : 5-7 %、 ×: 7 %<

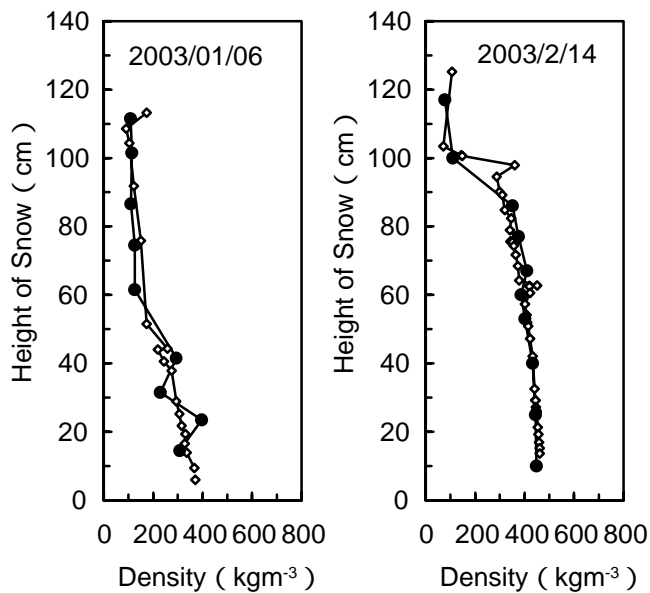


図2 密度の計算値と観測値の比較

(計算値、 観測値) 粘性圧縮モデルによる密度分布は観測値をよく再現した。

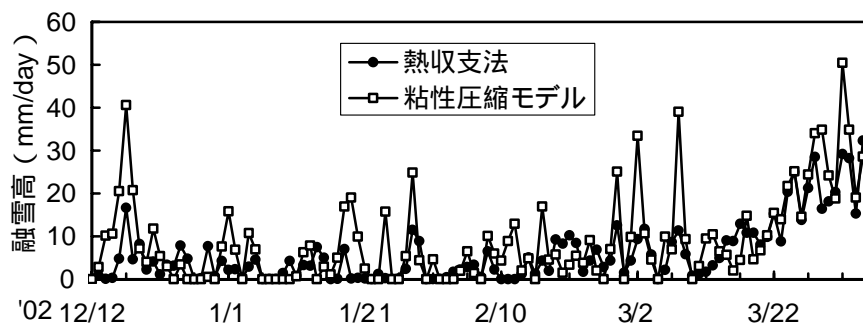


図3 粘性圧縮モデルと熱収支法による融雪量の比較

両方法による融雪量推定値はほぼ一致した。特に3月後半以降の融雪期によく一致した。

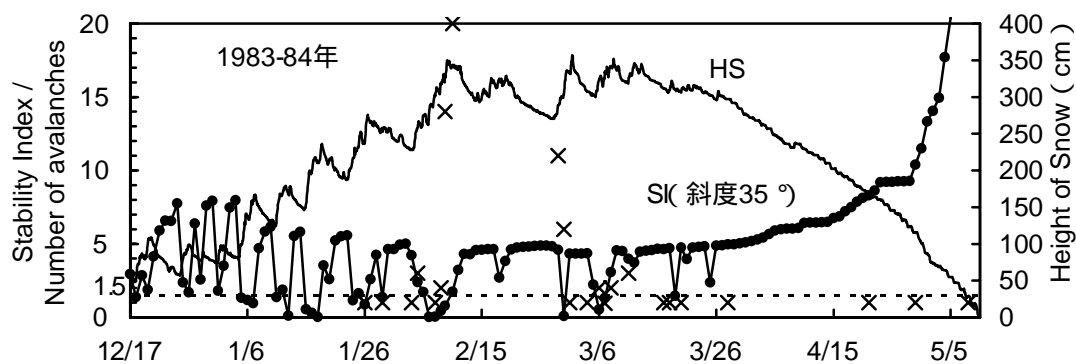


図4 積雪安定度SIの変化と雪崩発生件数(×)。HSは積雪深
積雪深が急増し、積雪安定度が低下したときに雪崩の発生件数が多くなった。

ISBN4-902606-13-5

「森林総合研究所 第1期中期計画成果1」

森林の水・土・空気をまもる

- 森林の水土・環境保全機能に関する研究成果集 2005 -

発行日 平成18年1月31日

編集・発行 独立行政法人 森林総合研究所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

電話 029-873-3211(代表)

印刷 朝日印刷株式会社 つくば支社

〒305-0046 茨城県つくば市東2-11-15

電話 029-851-1188(代表)

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。
