北海道東部における林相，斜面地形，下層植生が 森林土壌の浸透能に及ぼす影響

阿部友幸^{*1}・佐藤弘和²

阿部友幸・佐藤弘和：北海道東部における林相，斜面地形，下層植生が森林土壌の浸透能に及ぼす影響 日林誌 90: 84~90, 2008 流域全体の水土保全機能向上の方策を示すため，北海道東部の常呂川・網走川流域において作業道をふくむ林相，斜面地形，下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響を調査した。重機が走行する作業道や伐採跡地では，浸透能が低かった。北海道の主要造林樹種であるカラマツ・トドマツ人工林における浸透能は，天然林の値に比べて低い値を示した。また，全下層植生被度が高いほど，浸透能が高い値をとる傾向がみられた。これは，下層植生による土壌粗孔隙の形成等が関与していると考えられる。以上のことから，重機作業による浸透能低下に対する対策を積極的に図ることや，カラマツとトドマツ人工林については適正な密度管理を行うことで落葉広葉樹や下層植生を導入し，根系による粗孔隙形成を促す意義は大きい。

キーワード：人為攪乱，人工林，カラマツ，路網，トドマツ

T. Abe and H. Sato: Influences of Forest Type, Topography, and Understory on Infiltration Rates in Eastern Hokkaido, Japan. J. Jpn. For. Soc. 90: 84~90, 2008 The effects of forest type, topography, and understory vegetation on infiltration rates were investigated in the Tokoro and Abashiri River watersheds, in eastern Hokkaido. This study was performed in order to develop measures for soil and water conservation. Infiltration rates were lower on skidding roads and at felling sites where skidders worked, and were higher in hardwood or mixed natural forests than in plantations of the conifers *Abies sachalinensis* and *Larix kaempferi*, which are common in Hokkaido. A higher coverage of understory vegetation resulted in a higher infiltration rate, suggesting that vegetation root growth may increase soil porosity. To promote soil porosity, in the interests of soil and water conservation, mechanized operations by skidders should be minimized and stand density should be controlled to facilitate invasion by hardwood or understory vegetation.

Key words: *Abies sachalinensis*, artificial disturbance, conifer plantation, *Larix kaempferi*, forest road system

I. は じ め に

森林域において，生物活動孔および樹木やササの腐朽根跡のような粗大孔隙に富む森林土壌は，降雨を地下に浸透させて河川への直接流出を減少させることで洪水緩和に寄与し，同時に地表流の発生を抑制することで土壌侵食を防止するとされている（村井・岩崎，1975）。そのため，森林土壌は水土保全機能の中核をなす部位であり，土壌の浸透能は森林流域内における水流出プロセスを考える際の基礎的情報の一つとして重要な意味をもつ。

一般に，森林植生に覆われ土壌が十分に発達した斜面では降雨を吸収するのに十分な浸透能を示すとされているが（Anderson and Burt, 1990），管理不足の人工林，路網（林道，作業道や集材路）や伐採跡地などでは，攪乱を受けていない広葉樹天然林に比べて低い浸透能を示し（村井・岩崎，1975；村井ら，1988；牧，1984；竹内，1986；小林，1995），時には降雨を吸収しきれず表面流が発生することもある（川名ら，1963；松田，1983）。これらのことから，適切な人工林管理を行うこと，森林土壌の攪乱を抑えるこ

との必要性が指摘されている。

人工林化が林地の浸透能に及ぼす影響は，本州におけるスギ林とヒノキ林でよく検討されてきた。スギ林は斜面下部の土壌の良い立地に植栽されることや，落葉枝が原形を保ち，林床を保護することから，天然林と変わらない良好な浸透能を示すことが多いとされる（村井・岩崎，1975；松田，1983；牧，1984）。他方，ヒノキ林では林冠がうっ閉する傾向が強いため，管理不足で容易に林床植生が消失すること（赤井ら，1981），またリターが細かい鱗片状に分解するため地被物が消失しやすいこと（赤井ら，1981）などが素因となり，浸透能の低下・土壌流出を招くとされる（湯川・恩田，1995；恩田・湯川，1995）。このことは，ヒノキ林のみならず広く針葉樹人工林で適切な密度管理を実施し，下層植生を導入して森林土壌を保護する必要性を示唆する重要な知見となっているが，ヒノキ林での事例からの拡大解釈の側面が強い。

トドマツとカラマツは，日本の森林面積の1/4を抱える北海道において主要な造林樹種であることから，その林地の浸透能に関する情報は，森林の水土保全機能に関する

* 連絡・別刷請求先（Corresponding author）E-mail: toshizo@hfri.pref.hokkaido.jp

¹ 北海道立林業試験場道南支場（041-0801 函館市桔梗町 372-2）

Dounan Branch, Hokkaido Forestry Research Institute, 372-2 Kikyuu, Hakodate 041-0801, Japan.

² 北海道立林業試験場（079-0198 美瑛市光珠内町東山）

Hokkaido Forestry Research Institute, Higashiyama, Koushunai, Bibai 079-0198, Japan.

（2007年4月12日受付；2007年11月8日受理）

知見のなかで重要な位置を占める。しかし、トドマツ林については情報がなく、カラマツ林については天然林に比べて大幅に浸透能が低いとする東北地方での知見（村井・岩崎，1975）と、大差がないとする長野県での知見（片倉，1983）など、対立した結果があるのみである。

人為攪乱が林地に与える影響についても、知見を集積する必要がある。北海道では本州以南地方のように架線集材が行われることは稀で、そのほとんどがブルドーザーや高性能林業機械などの重機を使用した集材・運材方法をとっている。そのため、北海道では本州以南地方と比べて重機の走行や材の牽引（材の引きずりとともなう）に起因した土壌の攪乱度合いが高く、林地の浸透能により多大な影響を与えていることが想定されるからである。

そこで本研究は、北海道において、下層植生の侵入量、トドマツ・カラマツ両人工林や人為攪乱地を含めた林相、地形などの諸条件と浸透能の関係を明らかにし、水土保持機能に配慮した森林施業・整備の方法についていくつかの提言を試みるものである。とくに、北海道東部に位置する常呂川・網走川流域は、トドマツ・カラマツなどの主要な木材生産地の一つであり、かつ大面積の皆伐跡地や重機作業のための路網が発達していることから、本研究の調査対象地域とした。

II. 調査地概要

常呂川（延長 120 km，流域面積 1,930 km²）および網走川（延長 115 km，流域面積 1,380 km²）は、北海道でも有数の規模をもった河川である。両河川は、北海道東部に位置する網走支庁管内のほぼ中央部に位置し、オホーツク海に流下する。

両河川流域の源頭部は標高が 1,000 m を超える山地に位置し、中流部～下流部にかけては丘陵もしくは河岸段丘、氾濫原で構成されている。常呂川流域の地質は上流域と下流域で大きく異なっており、上部側では主に安山岩が分布し、下流側では緑色岩類が主体であるが、局所的に屈斜路カルデラ由来の軽石流堆積物がみられる。網走川流域の地質は左岸側と右岸側で大きく異なっており、左岸側では地すべりが多い堆積岩類、右岸側では屈斜路カルデラ由来の軽石流堆積物が堆積している。

両流域はオホーツク海型気候に属しており、日照時間は 2,000 時間を超え、年平均気温は 4～6℃，年間降水量は 600～800 mm と国内において最も少ないことから、全国的にみて年間を通じて寒冷寡雨な地域に位置づけられる。

両流域では、2001 年に襲来した台風 15 号と、これにともない活発化した秋雨前線に起因した豪雨（降り始めから 3 日間で 200～280 mm の雨量を記録）によって、流域下流部を中心に氾濫などが生じ、農林水産業を含め多大な被害がもたらされた（網走支庁ら，2001）。両流域がカラマツとトドマツを主体とした木材生産が盛んな地域であることから、地域住民からは「この災害による被害が森林伐採に起因した水土保持機能の低下と関係している」との指摘

がなされた。こうした状況を受け、北海道水産林務部，網走支庁，北海道立林業試験場の 3 機関は，常呂川流域・網走川流域内の森林域を対象とした水土保持機能に関する調査を行い，その一環として浸透能の多地点調査を実施した経緯がある（北海道水産林務部，2004）。

III. 研究方法

1. 調査地点の選定方法

本研究では，上記，浸透能の多地点調査の記録を使用した。この調査は，著者らが調査地と調査項目を選定し，委託業者に現地指導を行った上，計測・記録を依頼したものである。

一般民有林・北海道有林・国有林の森林簿情報を用い，6 種類の林相，すなわち天然林高蓄積，天然林低蓄積（以後，それぞれ天然林高，天然林低と称する），トドマツ人工林，カラマツ人工林（以後，単にトドマツ，カラマツと表記する），伐採跡地，重機作業道（以後，単に作業道と表記する）が相当数含まれるよう，合計で 108 カ所の調査地を選定した（図-1，表-1）。人工林については，造成以前の林相の影響を最小限にとどめるため，カラマツ，トドマツについてのおおの 30 年生以上，50 年生以上の林分から選択した。なお，作業道は伐採跡地に付随しているものを選んだ。

調査地では，1 カ所あたり 20×20 m の方形区を 1 区設置し（作業道をのぞく 99 カ所，作業道の森林現況は伐採跡地のそれと同じとした），森林概況調査を行った。方形区内の植生については，胸高直径 2.0 cm 以上の樹木の樹種・直径を測定した。これらの情報をもとに，伐採跡地および

図-1. 研究対象地域（左側：常呂川流域，右側：網走川流域），および調査地の位置図

表-1. 林相区分

林相区分	箇所数	定義
天然林高蓄積	19	天然林高蓄積の林分
天然林低蓄積	20	天然林低蓄積の林分
トドマツ人工林	30	50 年生以上のトドマツ林分
カラマツ人工林	21	30 年生以上のカラマツ林分
伐採跡地	9	伐採跡および新植地
重機作業道	9	伐採跡地の作業道・集材路

表-2. 調査地の林相別森林概況

樹種	胸高断面積合計 m ² /ha			
	天然林高	天然林低	トドマツ	カラマツ
アカエゾマツ	0.87	1.24	1.95	
アサダ		0.66	0.09	
イタヤカエデ	2.59	5.55	0.11	0.39
イヌエンジュ		0.65		
ウダイカンバ	0.94	0.79		0.07
エゾマツ	0.65		0.27	
オオバボダイジュ		1.53		0.17
オヒョウ	1.26	1.04		
カツラ	0.88	3.20		
カラマツ				27.82
ケヤマハンノキ	0.40			
サウシバ		0.60		
シナノキ	6.25	4.92	0.13	0.34
シラカンバ		2.20	0.18	0.23
ダケカンバ	0.45		0.13	
タラノキ			0.11	
トドマツ	16.13	2.25	37.64	1.96
ドロノキ			0.18	
ハシドイ				0.08
バッコヤナギ			0.16	
ハリギリ	1.12	1.78	0.09	0.05
ハルニレ		1.18	0.20	0.64
ハンノキ			0.15	
ミズナラ	3.83	4.08	0.13	0.24
メイゲツカエデ	0.41			
ヤチダモ	1.40		0.26	
ヤチハンノキ	0.62			0.17
ヤマモミジ				0.06
ヨーロッパトウヒ				0.22
その他	3.13	4.50	0.70	0.43
総計	40.94	36.17	42.29	33.04
箇所数	19	20	30	21
調査面積合計 (ha)	0.76	0.80	1.20	0.84
出現樹種数	46	50	46	40
広葉樹 最低	3.69	47.49	0.00	0.00
混交率 平均	56.26	89.72	5.97	9.11
(%) 最高	100.00	100.00	20.34	27.79

作業道を除いた林相ごとに、まず該当するすべての方形区内の個体について、種ごとに胸高断面積合計 (m²/ha) をもとめて上位 15 種を示し、残りを「その他」として示した。次に、全樹種を広葉樹種と針葉樹種に分け、全樹種の胸高断面積合計に対する広葉樹種の胸高断面積合計の百分率を広葉樹混交率 (%) の平均値とした。最後に、方形区ごとに広葉樹混交率をもとめ、これらのうちの最高値と最低値を示した。以上を森林概況とし、表-2 に示した。

おのおのの林相カテゴリーについて、天然林高および天然林低の調査地はイタヤカエデ、ミズナラ、シナノキ、シラカンバを主体とする落葉広葉樹林であるが、トドマツやアカエゾマツとの針広混交林となっている箇所も含まれている。また、トドマツ、カラマツ林相の調査地には、天然林高および天然林低で認められた落葉広葉樹が胸高断面積合計で平均 6~9% 混交している。

また、方形区において、下層植生の被度をササとそれ以外 (低木・草本・シダ・その他) に分けて測定した。被度は、下層植生の葉群を方形区に投影したときの面積率 (%)

表-3. 要因解析のためのカテゴリー、および平均基準浸入能

要因	カテゴリー	基本統計量	
		N	平均基準浸入能*
林相	天然林高	19	2.665 (462)
	天然林低	20	2.525 (335)
	トドマツ	30	2.558 (362)
	カラマツ	21	2.430 (269)
	伐採跡地	9	2.023 (105)
土壌	作業道	9	1.478 (30)
	褐色森林土	72	2.515 (327)
	黒ボク系	22	2.138 (137)
	褐色森林土		
	ローム質 淡色黒ボク土	14	2.309 (204)
斜面位置	尾根	6	2.684 (483)
	山腹上	14	2.520 (331)
	山腹中	48	2.444 (278)
	山腹下	23	2.398 (250)
	谷沿	17	2.151 (142)
斜面傾斜	~15%	23	2.205 (160)
	~25%	20	2.607 (405)
	~40%	27	2.437 (274)
	~55%	28	2.421 (264)
	~100%	10	2.398 (250)
全下層植生 被度	30~60%	6	1.924 (84)
	~90%	6	2.123 (133)
	~100%	96	2.460 (288)
ササ被度	~10%	25	2.321 (209)
	~40%	18	2.487 (307)
	~70%	17	2.353 (225)
	~90%	20	2.380 (240)
	~100%	28	2.502 (318)

* 常対数値で表現した。括弧内はその真数 (mm/h)。

を、目視により 5% 刻みで測定したが、ササの竿密度などは考慮していない。たとえば林床全面にササが生えていた場合、明らかな隙間がなければ 100% とした。解析にはすべての下層植生を対象とした「全下層植生被度」とササのみを対象とした「ササ被度」を用いた。

さらに、調査地の斜面地形 (斜面傾斜および斜面位置) を、方形区の現況に基づいて記載した。「斜面傾斜」は現地でフォールラインの方向の傾斜角 (度) をクリノメータで測り、計算によって勾配 (%) = tan (傾斜角) に変換して表現した。「斜面位置」は尾根・山腹上・山腹中・山腹下・谷および川沿の五つのカテゴリーに区分した。

また、土壌タイプとして、1 km メッシュの土壌図および北海道立林業試験場が公開している森林土壌情報データベースである IDaFoS-Hokkaido (<http://www.hfri.pref.hokkaido.jp/idafoS/menu/jpn/topfram.htm>; 2007 年 10 月現在) を利用し、褐色森林土、黒ボク系褐色森林土、ローム質淡色黒ボク土の 3 カテゴリーに区分した。なお、林相、土壌タイプ、斜面位置、斜面傾斜、全下層植生被度、ササ被度、における各カテゴリーの内訳は、すべて表-3 に記載した。連続変数である斜面傾斜、全下層植生被度、ササ被度のカテゴリー区分は、各カテゴリーの調査地数に大きな偏りが生じないように行った。

2. 浸透能の測定方法および算出方法

合計 108 カ所の調査地において、基準浸入能 (北海道立

中央農業試験場, 1992) を求めた。基準浸入能は、いわゆる最終浸透能の目安として広く使われている。

基準浸入能を求めるため、まず積算浸入量(円筒内に投入した水の深さで計算)の測定を、方形区内で行った(作業道については伐採跡地に設定した方形区の近傍で行った)。測定には直径 30 cm の円筒冠水式の浸透能試験器(大起理化学工業製 DIK-4200 および DIK-4210)を用い、180 分間行った。積算浸入量と経過時間の間には、以下の関係が成立する(Musgrave and Free, 1937; 村井・岩崎, 1975)。

$$D = C t^n \quad (1)$$

ここで、 D は積算浸入量 (mm), t は経過時間 (min), C と n は係数である。

(1)式より C と n が求められれば、基準浸入能 I (mm/h) は次式で計算される(北海道立中央農業試験場, 1992)。

$$I = 60 C n \{600 (1 - n)\}^{n-1} \quad (2)$$

なお、計算で求められる基準浸入能については常対数変換を施し、浸透能の値が小さいときの差の方が大きいときの差より重み付けされるようにした。すなわち、浸透能 0 mm/h と 100 mm/h の差の方が浸透能 500 mm/h と 600 mm/h の差より影響が大きいと考えたためである。

3. 解析方法

基準浸入能と関連がある要因を探る解析方法として、基準浸入能を目的変数、各種要因である林相、土壌タイプ、斜面位置、斜面傾斜、全下層植生被度、ササ被度を説明変数とした数量化Ⅰ類を行った。計算に用いたプログラムは、青木(2006)によるものである。また、本論では慣例的に使われている有意水準 5% を基準として、基準浸入能と有意な関係がある要因かどうかを判断した。なお、表-3 に要因解析のためのカテゴリー区分およびそれらの基準浸入能の平均値を整理した。

数量化Ⅰ類はダミー変数を用いた重回帰分析と等価である(柳井, 1984)。重回帰分析が要因ごとにカテゴリー数(N)に対して、 $N-1$ 個の偏回帰係数を出力するのに対し、数量化Ⅰ類では要因ごとに全調査地の平均値が 0 になるように調整(正規化)された偏回帰係数(正規化カテゴリースコア、以後、単にスコアと称する)をカテゴリー数と同じ N 個出力する。

「(任意要因における、任意の)スコア+定数項」は、他要因がすべて平均的なカテゴリーであったときの目的変数の推定値となる。他要因において、目的変数に対し平均の影響力を示すカテゴリーを仮定すると、そのスコアは定義から 0 であり、目的変数を推定するモデル(スコア×ダミー変数の多項式+定数項)において他要因の項が 0 となるためである。

以上のように、「スコア+定数項」は、正規化により基準浸入能の推定値から他要因による変動を除去したものであるから、直接相互に比較が可能であり、カテゴリー別に

みた浸透能の比較する上で利便性が高い。また、値が浸透能そのものであるから、スコアのみより直感性に優れる。このため、本研究では「スコア+定数項」(ここでは、常対数変換値を元に戻した値)を正規化された浸入能 I_N と称し、以後の議論に用いる。

IV. 結 果

1. 数量化Ⅰ類による基準浸入能に影響を及ぼす要因解析結果

数量化Ⅰ類による解析の結果、基準浸入能に対して有意な説明変数として、林相、斜面位置、斜面傾斜、全下層植生被度が採用された(表-4)。なお、数量化された説明変数間のピアソン積率相関係数は、いくつか有意な相関が認められるものの -0.293~0.257 と値は低いため、変数間の独立性は高いといえる(表-5)。土壌タイプおよびササ被度は、基準浸入能に対して有意な関係が認められなかった(表-4)。偏相関係数は、林相が 0.499 といちばん高く、斜面傾斜と斜面位置がそれぞれ 0.285 と 0.206、全下層植生被度が 0.240 であった。重相関係数は 0.600 と比較的高い値を示した。

表-4. 常呂・網走川流域 108 地点の基準浸入能の要因解析結果(数量化Ⅰ類)

要因	カテゴリー	N	I_N^* (mm/h)	数量化Ⅰ類結果			
				スコア	レンジ	偏相関係数	p
林相	天然林高	19	422	0.214	1.158	0.499	0.000
	天然林低	20	412	0.204			
	トドマツ	30	307	0.076			
	カラマツ	21	310	0.080			
	伐採跡地	9	103	-0.400			
	作業道	9	29	-0.944			
土壌	褐色森林土	72	306	0.075	0.231	0.174	0.079
	黒ボク系	22	185	-0.145			
	褐色森林土						
	ローム質 淡色黒ボク土	14	180	-0.156			
斜面位置	尾根	6	443	0.235	0.329	0.206	0.037
	山腹上	14	452	0.244			
	山腹中	48	212	-0.085			
	山腹下	23	257	-0.001			
	谷沿	17	234	-0.043			
	谷沿	17	234	-0.043			
斜面傾斜	~15%	23	138	-0.271	0.479	0.285	0.003
	~25%	20	416	0.208			
	~40%	27	299	0.065			
	~55%	28	289	0.049			
	~100%	10	203	-0.104			
	~100%	10	203	-0.104			
全下層植生被度	30~60%	6	105	-0.391	0.439	0.240	0.015
	~90%	6	108	-0.376			
	~100%	96	288	0.048			
	~100%	96	288	0.048			
ササ被度	~10%	25	278	0.033	0.180	0.113	0.254
	~40%	18	313	0.084			
	~70%	17	207	-0.096			
	~90%	20	286	0.045			
	~100%	28	226	-0.057			
	~100%	28	226	-0.057			
定数項				2.411			
重相関係数						0.600	

* 正規化された浸入能(本文参照)。

表-5. 基準浸入能および数量化された説明変数間の相関行列

	基準 浸入能	林相	土壌	斜面 位置	斜面 傾斜	全下層 植生被度
林相	0.470***					
土壌	0.214*	0.257**				
斜面位置	0.093	-0.106	-0.293**			
斜面傾斜	0.183	-0.058	-0.077	-0.015		
全下層植生被度	0.203*	-0.016	0.120	0.035	-0.059	
ササ被度	-0.008	-0.173	-0.211*	0.103	-0.021	0.001

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

図-2. 浸透能と林相, 地形, 下層植生との関係

解析は数量化Ⅰ類で実行し, 結果は正規化された浸入能 I_N (本文参照) で示した。括弧内数字は調査地数である。

2. 各要因におけるカテゴリー別にみた浸透能の違い

林相区分に着目した場合, I_N の値は, 天然林高>天然林低>カラマツ>トドマツ>伐採跡地>作業道の順であった(図-2)。天然林および針葉樹人工林の4カテゴリーについて I_N を比較すると, 天然林高と天然林低は同程度の値であり(412~422 mm/h), カラマツが310 mm/h, トドマツが307 mm/hであった(図-2)。作業道における I_N は, 29 mm/h と他のカテゴリーに比べ最も低かった。伐採跡地における I_N は103 mm/hであり, 天然林と針葉樹人工林をあわせた4カテゴリーの I_N 307~422 mm/hと比較すると低い値に留まっている。なお, 作業道および伐採跡地では, 地点によって1~30 mm/hと, きわめて低い基準浸入能が観測されている(両区分の総数18カ所中6カ所が該当)。

斜面傾斜や斜面位置などの地形要因では, 特に平坦に近い0~15%の斜面における I_N が138 mm/hと低い値を示した。緩傾斜地15~25%における I_N は最高値を示したが, それより急傾斜になるほど値が低くなる傾向がみられた(図-2)。

斜面位置による比較では, 尾根と山腹上部における I_N

は443~452 mm/hと値が高く, 山腹中部, 山腹下部, 谷沿いの値は212~257 mm/hと低かった(図-2)。

下層植生については, 全下層植生被度が高いほど I_N が高い値を示した。全下層植生が100%の場合には288 mm/hであったが, 100%未満の場合には105~108 mm/hであった。また, ササ被度は基準浸入能と有意な関係がなく, I_N に何らかの傾向も認められなかった。

なお, 基準浸入能と有意な関係がなかったが, 土壌タイプ別にみた I_N は, 森林褐色土が306 mm/hと, 黒ボク系褐色森林土やローム質淡色黒ボク土(180~185 mm/h)より高い値であった(図-2)。

V. 考察

基準浸入能は, 通常, 過剰な水を冠水(散水)させて得られるため, 自然降雨に対する浸透能と比較して過大な値が得られると推測されている(竹内, 1986)。このため, 基準浸入能値と自然降水強度との直接比較は意味をなさない。しかし, 同一測定器を用い, 相対的な測定値比較を行うことは, 森林の水土保全機能の評価において重要な過程(竹内, 1986)であることは, 現在でもかわらない。浸透能がより低い森林状態や立地を検出し, 対策を考察してゆくことは水土保全機能に配慮した森林経営を模索するための有効な方法論であると考えられる。

1. 林相による浸透能の違い

1) 作業道と伐採跡地の浸透能

林相区分は, 他の要因と比べ数量化Ⅰ類から得られる偏相関係数が最も高いことから, 基準浸入能に対する影響要因として重要であることが示された。特に, 人為的な攪乱を受けている伐採跡地や作業道の正規化された浸入能 I_N は, 天然林や両針葉樹人工林と比べてともに低い値であったことが確認された。

重機が走行した跡地において浸透能がきわめて低くなることは, よく知られている(Hatchell *et al.*, 1970; 村井・岩崎, 1975; Dickerson, 1976; 村井ら, 1988; 小林, 1995)。本調査結果も作業道の I_N がきわめて低いことから, 従来指摘されているように重機走行により土壌が圧密され I_N の低下に繋がったと考えられる。

伐採跡地の I_N は, 天然林2カテゴリーの24~25%に過ぎなかった。村井・岩崎(1975)は, 軽度攪乱または重度攪乱を受けた伐採跡地の浸透能は, 広葉樹天然林の浸透能のそれぞれ78, 18%であったことを示したが, 本研究の結果は後者により近い。片倉(1983)の結果では, カラマツ林やコナラ・ミズナラ林より伐採跡地の方がむしろ良好な浸透能を示している。これらのことは, 本研究の対象地域の, 重機を多用する作業仕組が林地に与える影響の重大性を示唆していると考えられる。伐採跡地は森林経営を行う以上, 必ず生じるものであるから, 今後, 伐採跡地での浸透能低下の機構について明らかにしてゆくことは, 森林管理上意義がある。

2) カラマツ林における浸透能の特徴

本研究が示した30年生以上のカラマツ林における I_N の値は、村井・岩崎(1975)による岩手県における結果(広葉樹天然林の半分以下)ほどではなかったが、天然林高の値と比べ73%と低かった。このことから、長野県の事例(片倉, 1983)とは異なり、北海道ではカラマツ人工林化により浸透能が低下する現象が確認された。

なお、カラマツ林での浸透能が低くなる機構として、 A_0 層に発生することがある疎水性の白色菌糸網層(石川, 1956; 村井・岩崎, 1975)、豊表のように緻密に堆積したリター(村井・岩崎, 1975)、リターの過剰集積(片倉, 1983)があげられている。前二者は乾燥条件下で、後者は若林齢期の葉量が最大になる時期に発生するとされる。気候の異なる地域によってカラマツ林の土壌型が変わること(山根ら, 1979)も考慮に値する。しかし、現在まで気候・林分条件がカラマツ林の浸透能低下に及ぼす機構や程度について統一的な見解はなく、今後検討する余地がある。

3) トドマツ林における浸透能の特徴

北海道において大面積の植栽がなされているトドマツ林内において浸透能を計測した例は、著者らの知る限り確認されていない。 I_N の値は、50年生以上と標準伐期に近い成熟したトドマツ林のものにもかかわらず、天然林高の73%であった。この結果と比較できる事例として村井・岩崎(1975)が東北地方で測定したトドマツと同属のモミ林における測定値があるが、ミズナラ・クリ・スギの各人工林および広葉樹天然生林の約60~65%であった。これらのことは、トドマツ人工林造成によって林地の浸透能が低下する可能性を排除できないことを示唆している。

トドマツ林で浸透能が低下する機構について触れた研究はない。しかし、トドマツ林造成によりMull型からMor型土壌に変化した、つまりトドマツ落葉が堆積したものに菌糸の厚く発達したF層がつくられ、鉅質土壌と表層腐食が混合してできた粒状構造をもつ A_1 層が消失した、とする事例(山本・真田, 1970)は、菌糸のもつ疎水性や土壌表層の物理構造の差異が水の浸透に影響を与えうる可能性があることを考慮すると、浸透能低下の機構を解明する上で注目に値する。

2. 斜面地形による浸透能の違い

斜面傾斜については、特に0~15%の平坦に近い斜面における I_N が低い値を示し、緩傾斜16~25%の斜面では最高値を示したが、それより急傾斜になるほど低い値になった。このことは、斜面傾斜の違いによる斜面の崩壊・堆積傾向が関連していた可能性がある。すなわち、緩斜面では膨潤した崩積土の堆積が起きやすいために浸透能にとってはプラスに働き、逆に崩壊が生じやすい条件下にある急斜面では崩壊にともない土壌層が薄くなるためにマイナスの影響が及ぶことが考えられる。平坦に近い斜面において浸透能が低い値を示した理由はよくわからないが、緩い傾斜地につくられた農地に再造林した場合に浸透能が低い値に留まる事例(石川, 1956)があるほか、この地域の台地で

は理化学性の悪い重粘土が分布すること(重粘地グループ, 1967)が緩傾斜地における浸透能低下に関与していることも想定される。

3. 下層植生による浸透能の違い

下層植生については、全下層植生被度が高いほど I_N が高い値を示した。この傾向は、下層植生によるリターの流亡抑制や下層植生の根系が腐朽することで粗大孔隙が形成されることにより浸透能を高める効果があるとされている従来の知見と調和した結果である。

村井・岩崎(1975)によれば、ササ地では、浸透能の値が高い傾向にある広葉樹林を上回る値が示されている。ササ地では、地下を縦横に走るササ根茎が腐朽することで粗大孔隙が形成され、浸透能の向上に寄与しうることが想定される。しかしながら、本研究において、ササ被度と浸透能の間には有意な関係が認められなかった。この結果は、ササだけではなく、それ以外の下層植生による根茎の発達・腐朽などが浸透能を高める結果に繋がったことを意味する。

VI. 浸透能を考慮した水土保持に配慮した森林施業・整備の考え方

1. 浸透能が低い攪乱地の取扱い

本州以南地方と比較して相対的に緩傾斜地が広い北海道では、架線集材より重機を用いた集材・運材作業が多用される傾向があり、作業能率向上のための作業道や集材路が作設されやすい。しかし、作業道や伐採跡地の I_N は、局所的にみればわずかな降雨でも地表流が生じる可能性を示しており、路面上を流れる地表流は路面侵食や路肩崩壊などを引き起こす原因にもなりうる(佐藤, 2006)。

重機作業にともない土壌の浸透能低下を回避する措置としては、集材路などにおいて地表の植生を除去するのではなく、そのまま植生を押しつぶすように重機を走行させるか、伐採時に発生する枝条を路面に敷き詰める、ことが効果的と考える。また、浸透能が低下しやすい作業道などは、路面上に発生した濁水が溪流に流入しないように、なるべく流路から離れた場所に配置する、などの配慮が必要である。

2. 林分の適正な密度管理による下層植生の導入

全下層植生被度が高いほど I_N が高くなる傾向は、人工林で下層植生の導入を図るための間伐の有効性を示すことに繋がる。北海道のカラマツ高齢林分(60年生以上)では、1) 他の針葉樹人工林に比べて林内は平均的に明るく、毎年春先の開葉前には特に明るくなること、2) 高齢林では下枝が高く枯れ上がるため、林内では下層植生として侵入広葉樹が多数存在する場合が多いこと、が知られていることから(小山, 2002)、カラマツ林分は下層植生を導入しやすい条件下にあるといえる。常呂川・網走川流域におけるカラマツ林は、間伐による密度管理が必要とされている時期を迎えている林分が多い。カラマツ林の保育と下層植生の導入などを利用した流域全体の水土保持機能向上のため

めに、当地域においても間伐など積極的な森林施業・整備を推進してゆくことが有効であると考ええる。また、トドマツ林分においても、下層植生が導入できるような適切な密度管理を行う意義は大きい。

この研究を進めるにあたり、当時、水産林務部森林計画課に所属していた阿部敏章係長、橋本治主査、由比孝明主任、網走支庁林務課治山係の熊谷操係長、大島淳一主任をはじめとする係の皆様、網走東部森づくりセンターの皆様、以上多くの北海道職員の方々に情報提供などで御協力いただいた。また、同僚の小野寺賢介氏には、改訂作業中に有益なコメントをいただいた。北海道立林業試験場の寺澤和彦博士には森林土壌に関する広範な情報を教授していただいた。論文執筆開始のときに上司であった対馬俊之氏には多方面にわたる調整やGIS技術の教授など、研究環境の整備に尽力していただいた。ここに記し、感謝の意を表します。

引用文献

- 網走支庁網走地区水産技術普及所・北海道指導漁業協同組合連合会・北海道漁業団体公害対策本部・北海道立網走水産試験場・常呂漁業協同組合・佐呂間漁業協同組合(2001) 常呂海域台風15号によるほたて漁場被害状況調査結果報告書。27 pp, 札幌。
- 赤井龍男・杉浦孝蔵・相場芳憲・有光一登・本城尚正・石井 弘(1981) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉、土壌等の流出移動について (I) 実験条件と降水量の分布。日林論 92: 211-212。
- Anderson, M.G. and Burt, T.P. (1990) Process Studies in Hill-slope Hydrology. 539 pp, John Wiley & Sons, Chichester.
- 青木繁伸(2006) 数量化I類プログラム。(<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/stats-by-excel/vba/html/qt1.html>; 2007年10月現在)
- Dickerson, B.P. (1976) Soil compaction after tree-length skidding in northern Mississippi. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 965-966.
- Hatchell, G.E., Ralston, C.W., and Foil, R.R. (1970) Soil disturbances in logging. Effects on soil characteristics and growth of loblolly pine in the Atlantic Coastal Plain. J. For. 68: 772-775.
- 北海道立中央農業試験場(1992) 土壌および作物栄養の診断基準—分析方法(改訂版)—。199 pp, 北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課, 札幌。
- 北海道水産林務部(2004) 水土保全機能に配慮した森づくりにむけて—常呂川・網走川の事例より—。24 pp, 北海道水産林務部森林計画課, 札幌。
- 石川政幸(1956) 十勝岳山麓地帯の土壌侵蝕防止に関する研究。林業試験場北海道支場業務報告(特別) 7: 157-189。
- 重粘地グループ(1967) 北海道北部の土壌—重粘性土壌の生成・分類と土地改良—(北川芳男・松野 正・近堂祐弘・佐久間俊雄)。195 pp, 北海道開発局, 札幌。
- 片倉正行(1983) 各種林況の浸透能に及ぼす影響についての研究—カラマツ林, 落葉広葉樹林及び伐跡造林地の浸透能について—。長野県林業指導所業務報告(昭和57年): 262-273。
- 川名 明・高原末基・松永栄夫・久保 勇・平山 仁・青沼和夫(1963) 尾鷲地方におけるヒノキ林の林地保護に関する研究(第1報) ヒノキ成林地における表面土壌流亡の防止試験。日林講 74: 126-129。
- 小林繁男(1995) 森林土壌の保水・浸透能の向上技術の開発。森林総研所報 81: 4-5。
- 小山浩正(2002) 近自然型森林造成方法の提案—(I) 人工レフュージアとしてのカラマツ林の価値—。北方林業 54: 193-197。
- 牧 勉(1984) 森林土壌の浸透能。治山 29: 180-189。
- 松田 清(1983) 森林の土壌浸透能について。愛知県林業試験場報告 19: 47-56。
- 村井 宏・岩崎勇作(1975) 林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報)—森林状態の差異が地表流下, 浸透および侵食に及ぼす影響—。林業試験場研究報告 274: 23-84。
- 村井 宏・熊谷直敏・野上啓一郎・岩崎勇作(1988) 天然生広葉樹林の伐採と針葉樹人工林への転換による林地の浸透能と貯水能に及ぼす影響。日林論 99: 619-622。
- Musgrave, G. W. and Free, G. R. (1937) Preliminary report on a determination of comparative infiltration rates on some major soil types. Trans. Am. Geophys. Union 18: 345-349。
- 恩田裕一・湯川典子(1995) ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響(II) 下層植生の効果に関する室内実験。日林誌 77: 399-407。
- 佐藤弘和(2006) 浮遊土砂の流出抑制に配慮した森林管理方法。日林誌 88: 50-59。
- 竹内信治(1986) 森林水文調査(III)—森林水文調査のための浸透能調査—。治山 31: 213-217。
- 山本 肇・真田悦子(1970) トドマツ落葉の分解が土壌におよぼす影響。林業試験場研究報告 229: 63-92。
- 山根玄一・薄井五郎・菊地 健(1979) カラマツ林分化にともなう土壌の変化。北海道林業試験場報告 17: 23-37。
- 柳井晴夫(1984) 数量化I類。(統計用語辞典・芝 祐順・渡部 洋・石塚智一編, 新曜社, 東京)。125-126。
- 湯川典子・恩田裕一(1995) ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響(I) 散水型浸透計による野外実験。日林誌 77: 224-231。