

## 標高メッシュデータから求めた土壌重力水の 残存日数とトドマツ樹高成長の関係

薄井五郎\*・宮木雅美\*

An existent term of gravitational water at a site of slope  
as a height growth index of Todo-fir (*Abies sachalinensis*)

Goro Usui\* and Masami Miyaki\*

### はじめに

地形は林木の成長に重大な影響を与える。森林立地的に地形を数量化する妥当な方法は現在まで示されておらず、地形の位置や形状の区別に、成長差をうまく説明するように統計的に与点する合目的な方法がとられてきた。この方法は、生態的な根拠から発想されたものではないために、カテゴリーの与点のされかたに再現性や論理性を欠くことが避けられない。地形図から、生態的根拠がもてるように地形因子を数量化できれば、林地生産力の広範囲な評価が可能になると同時に、地形以外の因子の関与を推定することも可能になるであろう。

この目的のためには、次に説明するように、土壌重力水の残存日数が有効であると考えられる。いま、土壌が十分に湿った後に地形に応じて乾燥してゆく過程を考えると、凸地形では速やかに乾き、凹地形では適潤な期間が長い。土壌水分が適潤である期間が長い地形では、水溶性養分も集積しており、土壌層も厚く、さらには風衝から守られることなど、林木の成長に有利な環境であることが示されるであろう。土壌水分の移動は地形にしたがって、重力水によって起こるから、ある地点における重力水の残存日数は森林立地の良好な指標と考えることができる。

前報(薄井1989a)では、地形を標高メッシュデータから、窪田ほか(1987)の方法を応用して重力水残存日数を計算し、樹高成長との対応を検討した結果、応用が可能であることがわかった。なお、そのとき蒸発散量を一定とおいたため、改善の要があった。本報告ではこの点を改め、地点ごとの斜面方位・傾斜から蒸発散量を推定し、また地下への浸透項を加えて土壌重力水の残存日数を推定した。

また、本報では検討対象を3つの反復区すべてについて行い、192プロットに増やした。

その結果、残存日数は地形によるトドマツ樹高変動の半分以上を説明する有力な因子であることがわかったので報告する。

### 調査地および方法

#### 調査の概要

前報と同じ、美唄市光珠内にある北海道立林業試験場の1965年5月植栽のトドマツ次代検定林である(図-1)。検定林の土壌は褐色森林土であり、凸部に乾燥系のB<sub>D</sub>(d)、凹部には弱湿性系B<sub>E</sub>型が分布し、その間にはB<sub>D</sub>型が分布する。

\* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forestry Research Institute, Bibai, Hokkaido 079-01

[北海道立林業試験場研究報告 第29号 平成3年10月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No. 29. October, 1991]

検定林の1反復区は64プロットからなり、  
繰り返しはR1～R3の3反復である。

各プロットは12m間隔に方形に区分されており、その格子線を1条おきに簡易レベルで測量して、地形図および12m方形メッシュの標高データを得た。3つの反復区を含んだ21×20の格子点(図-1)の標高データファイルを作成した。

トドマツの成長データとして、20年生時における各プロットの樹高を用いた。各プロットには64本(4,500/ha)植栽されたが、樹高は各検定区内の被圧木を除いた平均樹高で示した。平均樹高は4～11.24mであった。間伐の経過は1978年1伐7残の境界伐採、1985年にR2区に枝の枯上がりがでたため3,400本から1,600本/haに間伐した。

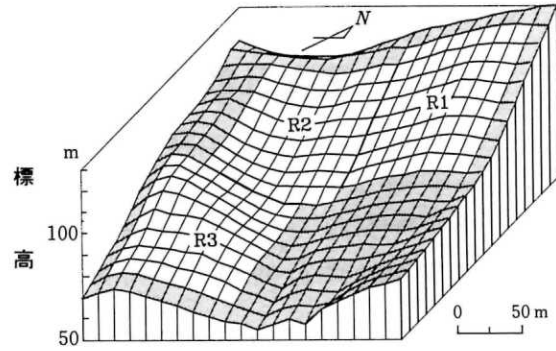


図-1 検定林の地形

#### 土壌重力水残存日数方法

土壌重力水残存日数の推定は、前報に続き窪田(1987)の式に準じた。同式において、メッシュ1区画内における平均土壌層の $t+1$ 日目の水分飽和度 $S(t+1)$ は、次に示される。

$$S(t+1) = S_t + (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - q_v) / (D \cdot L^2 \cdot \omega) - E / (D \cdot \omega) \dots\dots\dots (1)$$

なお、 $Q = K_s \cdot S^B \cdot \sin K \cdot D \cdot L$

また、 $q_v = K'_s \cdot S^B \cdot L^2$

ただし、 $Q_{1-4}$ :メッシュで囲まれた四方の各土壌断面当たり土壌水分の流出入量、 $K_s$ :斜面方向の飽和透水係数、 $K'_s$ :基岩への飽和透水係数、 $S$ :断面の平均飽和度、 $B$ :不飽和領域での透水係数の低下を示すパラメータ、 $L$ :メッシュ間隔、 $D$ :土壌層厚さ、 $\omega$ :土壌の間隙率、 $E$ :蒸発散量、 $q_v$ :地下浸透量、 $K$ :傾斜角。長さの単位はcmを用いた。

なお、ここでは $D$ は一定と置き100cmである。また、土壌は全プロットで一定であると仮定した。

上式から、 $t+1$ 日目の土壌の体積含水率 $W(t+1)$ は次で示される。

$$W(t+1) = W_t + (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) / (D \cdot L^2) - E / D - q_v / (D \cdot L^2) \dots\dots\dots (2)$$

右辺第2項は地形の凹凸による水の流出入量を、第3項は斜面方位・傾斜に基づく蒸発散量を、第4項は地下への浸透量をそれぞれ土壌の体積当りに表示したものである。

ここで、 $Q_{1-4} = K_s \cdot \sin K \cdot D \cdot L \cdot (W_t - W_{1.8}) / (W_{1.0} - W_{1.8})$

$W$ の添字はpF値を示す。土壌水分がpF1.8より乾燥すれば $Q=0$ とした。

地下浸透量 $q_v$ も同様に次式で示し、土壌水分がpF1.8より乾燥すれば $q_v=0$ とした。

$$q_v = K'_s \cdot L^2 \cdot (W_t - W_{1.8}) / (W_{1.0} - W_{1.8})$$

$K_s$ が大きいと、地形の形態や斜面上の位置による影響が強まる。また $K_s$ が小さいと、斜面の方位・傾斜に依存する蒸発散量の影響が強まる。また $K'_s$ が大きいと残存日数が全体に小さくなる。

蒸発散量 $E$ は前報では全地点で一定とおいたが、トドマツが傾斜方位や地形に従う土壌乾燥によって成長が減退することは周知のことであり、乾燥に重みをおくため次のように考慮した。すなわち、蒸発散量 $E$ は、各地点別の斜面方位と傾斜度により、午後2時における次式で示される日射係数 $d$ (岡上1957)から求めた。

$$d = \left\{ 1 - (\sin k \cdot \cosh \cdot \cos \theta + \cos k \cdot \sin \theta)^2 \right\}^{0.5} \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha) \cdot \cos \delta + (\sin k \cdot \cosh \cdot \cos \theta$$

$$+ \cos k \cdot \sin \theta) \sin \delta$$

$$\text{ただし, } \alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin k \cdot \sinh}{\cos k \cdot \cos \theta - \sin k \cdot \cosh \cdot \sin \theta} \right\}$$

h : 方位角, δ : 赤緯, θ : 緯度 (43.3°), t : 時刻

日射系数は7月25日 (δ = 19.5°) の値である。この理由は、すでに示したように (薄井 1989 a), 現地において気温が上昇して土壤乾燥が起こりうる季節であり, 乾燥が実際にトドマツの成長を妨げることを考慮したことによる。次に, 各地点の1日の蒸発散量は日射系数に比例すると仮定して, 平坦地における日蒸発散量が5 mm になるよう比例係数を乗じた。

計算は図-2に示したフローに従い, 土壤が十分に湿った状態 W = 0.40 (pF 1.0) から始めて, 好天が続くという条件下で, 地形に応じた水分の消失および再配分により重力水が消失する (W = 0.30, pF 1.8) までの日数を各プロットの残存日数とした。

なお, Ks は前報の値を用いた。すなわち, C層の真下式透水性 (Ks = 0.00033) に近い値で, 無降水期間の土壤乾燥過程から pF 1.0 から 1.8 までに要する日数の推測値に合う値 Ks = 0.00022 cm / sec を試行錯誤的に求めたものである。真下式透水性は詳細な Ks を求めるには最適ではないが, 概数を求めるために用いた。

K's は測定していないが, 上記の Ks との併用により (2) 式において前報の残存日数分布に近い値を得る K's = 2.2 × 10<sup>-5</sup> cm / sec を用いた。



図-2 土壤重力水の残存日数計算 (プログラムのフロー図)

### 結果および考察

計算結果を図-3に示す。数値は地形による散水・集水の状況を表し, 凸地形で最小値がみられて12日, 凹地形で最大値がみられて36日となった。

土壤重力水分の残存日数と, 20年生時点の樹高との対応関係を図-4に示す。図から, 樹高成長は残存日数と曲線関係にあることが認められる。両者の関数関係は未知であるが, ある範囲内では残存日数が増加すれば, 樹高成長も増大すると考えられる。さらに残存日数が増大すれば, 土壤の過湿が樹高成長を減退させる場合があるので, 残存日数のどこかに成長の最大値をもつと考え, 2次曲線を当てはめた。その結果, 相関係数は0.78と高い相関を示し, 土壤重力水残存日数は産地・家系が異なるトドマツの樹高成長の変動の61.5%を説明した。このようにサンプルが不均質であるにも関わらず, 樹高成長の変動の過半を説明し

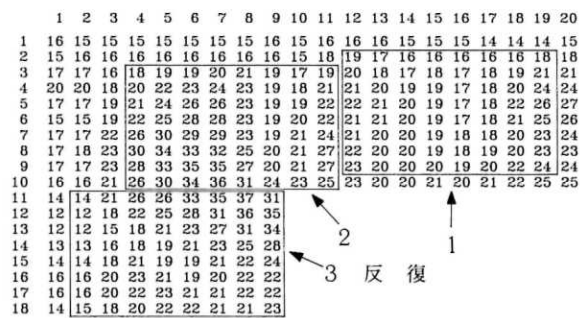


図-3 重力水残存日数の分布

たことは、単一の因子として有効であるといえよう。

使用したK'sの値はKsと比較して大きいと思われる(窪田ほか 1987)。この原因としては、この林地では明瞭な基岩層の位置は約2mと深いのが、根圏内の水分を対象とするために計算の層厚を100cmとしており、基岩部への浸透係数よりも大きい値になったと考えられる。また前報においては土壤断面にセットした土壤水分計に断面設定の影響が加わり、無降水期間から推測した残存日数が小さかったことも考えられる。

現地に最適なKs、K'sを実験から求めるのは困難である。そこでこれら係数の変化によって、樹高成

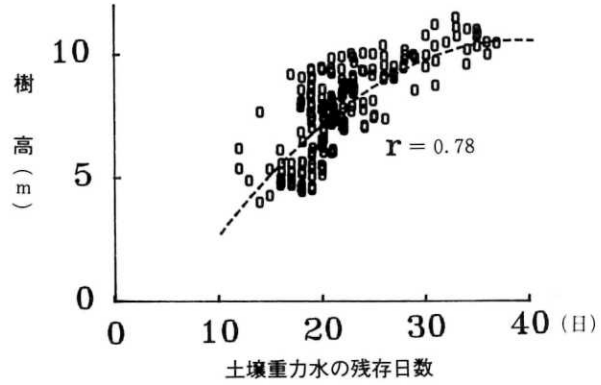


図-4 土壤重力水の残存日数とトドマツ樹高成長の関係

表-1 Ks, K'sの値による残存日数のトドマツ樹高成長への寄与率%

K's (× 10 <sup>-3</sup> )	Ks (× 10 <sup>-3</sup> )								
	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300
0.0100	60.18	61.57	62.77	63.29	61.47	60.25	59.17	57.07	56.82
0.0150	60.63	61.16	60.99	62.53	61.47	61.37	59.50	58.23	56.91
0.0200	59.69	61.67	61.74	61.23	61.67	60.63	59.64	58.54	57.15
0.0250	60.15	61.35	63.66	61.83	61.56	59.68	60.27	58.86	57.59
0.0300	58.60	61.73	61.27	62.22	62.49	61.18	59.93	58.60	57.20

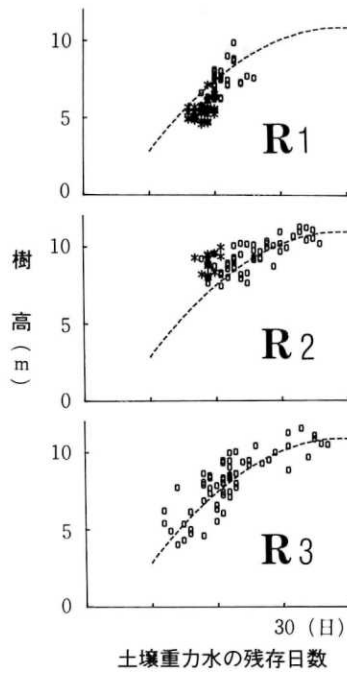


図-5 反復別にみた残存日数と樹高成長の関係

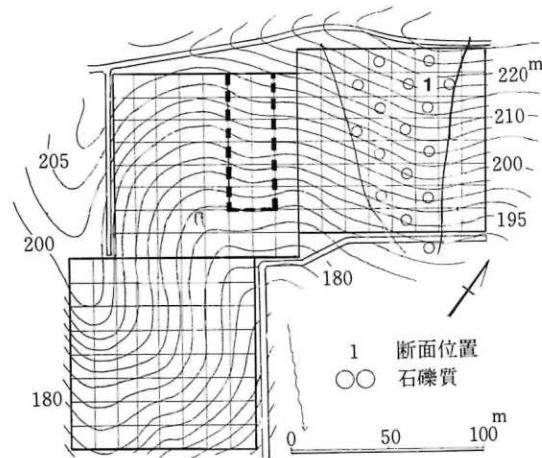


図-6 土壤の分布

表-2 土壤断面に現れた石礫分布の違い

断面 深さ cm	層位	堅さ	1		
			土性	石礫	
20-	A	軟	SL	大	中
	AB	軟	SL	ナ	シ
60-	B	やや堅	S	含	含
	C	やや堅	S	乏	多

SL: 砂質壤土, S: 砂土  
点線は層位が漸変することを示す。

長に対する残存日数の寄与率がどのように影響されるかを表-1に示す。表から、 $K_s$ を.0001~.0003、 $K's$ を $1.0 \times 10^{-5}$ ~ $3.0 \times 10^{-5}$ と3倍の変化をさせると、寄与率は56.82~63.66%と変化しその差異は小さい。とくに $K's$ による寄与率の変化は小さい。このことは式の形から推測されることである。 $K's$ を変化させても残存日数のレンジの変化と、各プロットの残存日数の平行的移動が起こるに過ぎず、順位の入れ替えはほとんど起こらないからである。このことから、斜面の土壤水分環境を相対的に区分しようとする場合には、 $K's$ は概数を与えればよいことになる。なお、表の範囲では $K_s = 1.5 \times 10^{-4}$ 、 $K's = 2.5 \times 10^{-5}$ の時、寄与率が63.7%と最大値を示したが、この $K_s$ はC層で得た値より小さい。樹高成長の変動を最も説明する $K_s$ が、この林地土壌層の最も妥当な $K_s$ であるかどうかは判定できないが、予想した $K_s$ とは非常に異なるものではなかった。

図-4を反復別に区分して図-5に示す。残存日数のレンジは、R1では小さく、R3では広域にわたっており、R2では中間を示した。このレンジの大小は、地形や方位の変化の幅によるものである。図中の曲線は図-4に示した全プロットの回帰曲線である。R1では残存日数が20日付近以下で曲線よりやや低く、R2では逆に曲線より高い。R3では曲線によく一致している。図-5 R1の\*印の偏りは図-6に示す土壤の分布に起因していると思われる。すなわち、R1の\*印はの尾根部の砂岩角れきを多含する土壤のプロットであるが(図-6、表-2)、土壤部分が少ないため推定した残存日数よりも早い段階で乾燥していたと考えられる。一方、図-5 R2の\*印は図-6の点線域内のプロットである。この区域は凹型地形中の微凸地形に当たっており、幅は2プロット分と狭い。トドマツの根系はプロット区画から外の凹型地形にも及んでいると推測され、それによって、より肥沃な土壤の影響を受けると考えられる。このことが幅の狭い凸型斜面形と樹高成長との対応関係を低下させたと考えられる。標高メッシュデータを利用した成長解析においては、地形図の縮尺とプロットサイズの検討が必要であるが、凹型地形においては、根系範囲の幅の微凸地形は無視してよいと筆者らは考える。

林分内において地形形態と樹高成長の関係が低下する場合の一般的な原因としては、部分的に 1) 土壤母材・層厚が異なる、2) 残存日数を推定する式で考慮していない風衝の影響を強く受ける斜面が存在する、3) 林分の成長過程で気象害や競合などの2次的な影響を受けたなどが考えられる。この林分の場合はトドマツの産地・家系による樹高の変動が加わっているため、反復ごとに独立して検討するとサンプル数が減って偶然による影響を受けやすくなる。このことから、現段階ではR1~R3全体を含めた $K_s$ とその寄与率の論議にとどめたい。

このように反復別にみると多少のばらつきが認められるが、全体としては図-4に示すように、重力水の残存日数でトドマツの樹高成長をよく説明できた。

#### おわりに

以上、地形の要因を斜面形態および斜面方位・傾斜の2因子から推定した重力水の残存日数は、トドマツの樹高変動の過半を説明した。森林立地学の視点からの地形を数量化する方法として、土壤重力水の残存日数は有効であると考えられる。森林土壌は微地形によって複雑に変化するが、土壤層厚を一定と仮定し、また土壤の浸透係数を確定しにくいという条件下にもかかわらず、この一因子がトドマツの樹高成長変動の過半を説明したことは、この因子が樹木の成長に及ぼす地形の本質に近い因子であるといえよう。

土壤の浸透係数 $K_s$ は土壤重力水の残存日数の推定において最も重要な係数であるので、合理的な推定方法を今後検討する必要がある。いろいろな地質・土壌において $K_s$ 、 $K's$ の値が明らかになれば、重力水残存日数による評価方法が利用できる。なお、斜面の土壤水分環境を相対的に区分するとき、

K's は概数でよい。

標高メッシュデータは、等高線から能率良く作成することが可能となってきたため、土壤重力水の残存日数が将来は林地生産力の推定や土壤図の作成などに利用できよう。

地形による樹木の成長評価は、成長量の推定のみでなく、育種検定林において系統を評価する場合にも必要である。山地斜面に設定された検定林の場合、反復内の地形因子による変動部分をできるだけ小さくする必要があり、土壤重力水の残存日数による回帰からの変動について着目すれば評価の精度が向上するであろう。今後は検定林の産地・家系間の差異についても検討したい。

この検定林は各産地のものを含むため、産地によっては気候因子など地形以外の要因が樹高成長に影響を与えていると考えられる（畠山 1981）ので、産地が単一な一般造林地の場合は残存日数による成長の評価精度がさらに上がると予想される。

残存日数が成長へ与える影響のしかたは、樹種によって違いがあると予想される。立地条件への依存のしかたに樹種特性の違いがあることが、生理的実験のみでなく現地のレベルでも検証できるかもしれない。

## 文 献

- 畠山末吉 1981 トドマツの産地間変異の地域性に関する遺伝育種学的研究. 北林試報 19:1-91
- 窪田順平・福島義弘・鈴木雅一 1987 山腹斜面における土壤水分変動の観測とモデル化. 日林誌 69:258-269
- 岡上正夫 1957 斜面の受ける日射量を求める簡単な一方法. 日林誌 39:436-437
- 薄井五郎 1989a トドマツの年輪幅変動に及ぼす土壤乾燥の影響. 北林試研報 27:92-99
- 1989b 地位に影響する土壤重力水の残存日数. 日林北支論 37:131-133