

森林土壌水分の季節変化と斜面方位による差異

薄井五郎*・杉浦 勲*

はじめに

森林土壌の水分条件が林木の生育の支配的因子となることについては、水分系列による土壌区分である土壌型と林木の生長との相関性に関する多くの研究でほぼ明らかである。

土壌の水分量は、降水による供給量と、蒸発散などによる損失量とのバランスによって定まるが、降水量は季節変化を示すから、土壌水分もそれに伴って変化すると考えられる。

また、降水量が一定とみなしうる小地域に限定しても、山地では斜面方位によって日射、風速などが異なり、蒸発散量が影響を受けて土壌の水分条件に差を生じ、これが北海道北部で一般に観察される林木の斜面方位による生長差をもたらす要因の一つと考えられる。以上のことを確かめるため、斜面方位によって明らかに生長の差が認められる成林したトドマツ人工林地内に固定調査地を設け、土壌水分の季節変化と斜面方位によるその変化の差異について測定を行なった。同時に、その差をもたらす環境機構を明らかにするために、林内の気象観測を行ない、これらの水分変化に与える影響について検討を加えた。

この調査に多大な御協力を頂いた雄武林務署の各位に厚く謝意を表す。

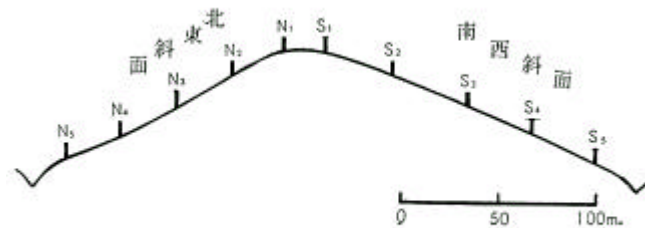
調査地および調査方法

調査および観測は、1967年5～10月の6カ月にわたって実施した。調査林地は、北海道有林雄武経営区120林班内の1林分で、1932年植栽のトドマツ人工林である。この林分は南東から北西へ走る尾根によって2分されており、南西、北東両斜面の違いによる樹高生長の差は顕著である。北東斜面は完全にうつ閉して、平均樹高は18mである。地床には下草はなく、トドマツの落葉が薄く堆積している。南西斜面はうつ閉度8で樹高は11mであり、1.5mのササが密生し、雑木の侵入もみられる。

北東斜面の地形は傾斜角25～40°のやや凹型状で、斜面長は120mである。南西斜面は25～30°のやや凸型状で、斜面長は150mである。

調査プロットは両斜面上に等高線に対してほぼ垂直に調査林帯を定め、各林帯の斜面を4等分した地点に設定し、北東斜面を峯から順にN₁～N₅とし、南西斜面も同様にS₁～S₅とした(第1図)。

土壌水分測定用試料は、各プロットに1×1×1mの穴を掘り、山側断面の深さ5, 15, 25, 35, 45cm



第1図 プロット配置図

* 北海道立林業試験場

各点の試料を採取した。測定時に30cm ずつ掘り進み、採取した試料は現地で2 mmの篩を用いてすばやくふるい分けし、通過した細土をビニール袋に2重詰めとした。この試料を室内で105℃、24時間乾燥を行ない、水分を絶乾土重量当り%（以下、含水比という）で表示した。

土壤母岩は両斜面とも古生層硬質粘板岩であり、土性については、ピペット法による分析結果では両斜面による差は認められなかった。

林内気象の観測法は、それぞれ以下に示す方法によった。

風速： 第1図の峯部上のトドマツの頂端から2 m高い位置に3杯風速計を設置し、地上の電接計数器に接続し測定した。

風向： 峯部の風速計の付近で、同様にトドマツ樹冠上2 mの位置に自記風向計を設置し測定した。

気温： あらかじめ誤差チェックをしたシックス型温度計を地床上1.5mに北向きに設置し、直射光を防ぐためにひさしをつけた。N₂、N₄およびS₂、S₄の各プロットで16時の気温および最高、最低気温を測定した。

地温： N₂、N₃、N₄およびS₂、S₃、S₄の各プロットの地表下5、25cmにさし込んだ棒状温度計で16時に測定した。

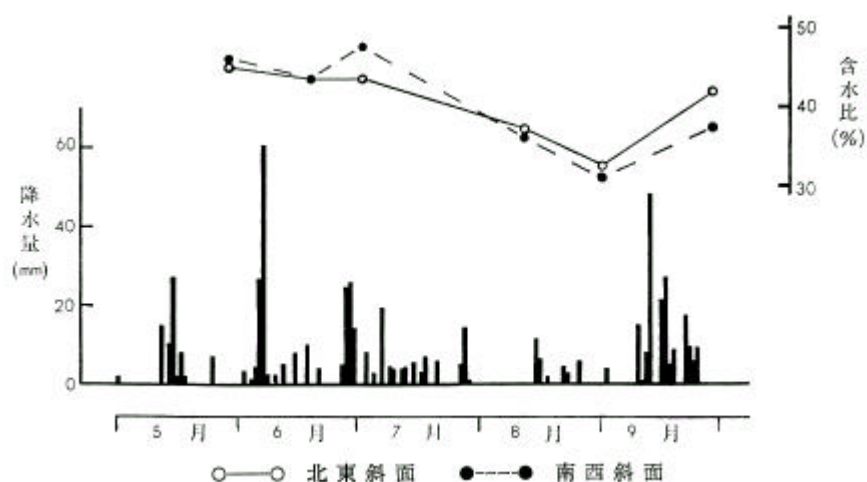
雨量： 峯部の楕円形の無立木地（短軸10m、長軸15m）の中心に7日巻自記雨量計を設置し測定した。

水面蒸発量： 50mℓ容蒸発皿に50mℓの水を加え、8時から16時までの蒸発量をmℓで表示した。蒸発皿はN₂、N₃、N₄およびS₂、S₃、S₄に2箇所ずつ直接地床上に設置した。また、隣接する皆伐跡地の南西、北東両斜面に8箇所ずつの同型蒸発皿を配置して、林内の対照区とした。

結果および考察

森林土壌水分の季節変化

5月29日から9月29日までの土壌水分の測定結果は付表に示すとおりである。プロットN₂～N₄、S₂～S₄の地下15、25、35、45cmの平均含水比を5～10月の降水量グラフに落点して第2図に示す（地下5cm点におけるデータを除いた理由は、南西斜面の表層約10cmの深さまでに菌糸層がむらに存し、試料採取箇所によって含水比が大きく変化するためである）。なお、調査地で測定した降水量と付近の幌内発電所（5km離れ、標高差は100m）の同日期日の降水量とを比較した結果、ほとんど差が認められなかったため、降水量は、当発電所の測定値を用いた。この図



第2図 土壌水分変化と降水量

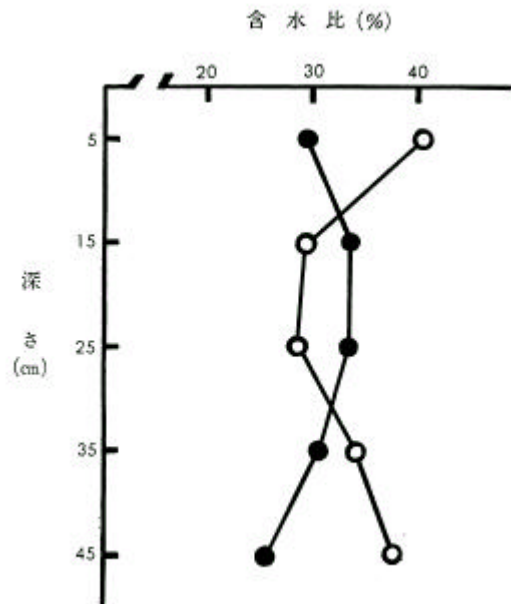
から、土壌水分は降水と密接に関係して季節変化することが認められ、調査期間中の含水比は最高時と最低時には約 20%の差がみられる。トドマツ造林地の土壌水分が季節変化することは、蔵本ら(1959)によってすでに報告されているが、この調査においても同様に認められた。5月初旬は融雪してから間もないので、土壌は湿潤であり、6月から7月初旬は降水量が多く大体一定の含水比を示した。7月中旬から9月上旬までは降水量が少なく、これに伴って土壌も乾燥し、9月1日の測定で最小値を記録した。8月11日~9月1日に6日間、合計32mmの降水があったが、土壌水分は減少し続けている。同様に、9月2日の4mmの降水は土壌水分に影響を与えず、9月9日が9月1日よりもさらに乾燥していたことが推定される。

9月10日以後は多量の降水があったために含水比は増大した。

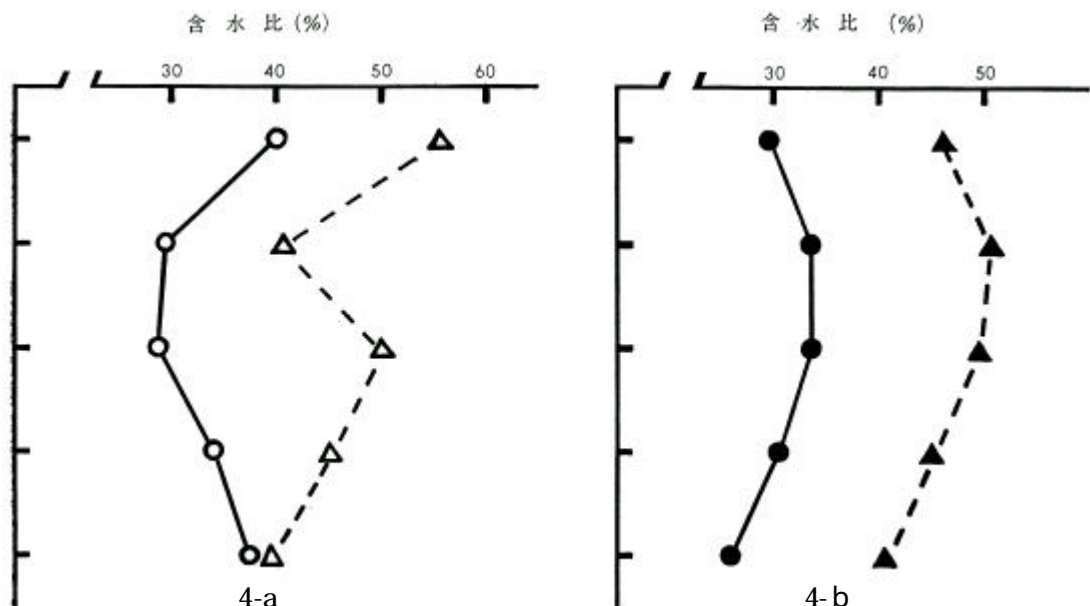
観察によれば、7月初旬までは土壌を指間で強くつまむと水が浸出したが、8月後半には湿気がわずかに残る程度であり、この傾向は南西面で著しかった。

斜面方位による土壌水分変化の差異

第2図において、南西、北東両斜面による土壌水分変化の差異をみると、7月2日までは南西面は北東面とほぼ同じ程度かやや含水比が高いが、8月11日以後はこの関係は逆転して南西面の含水比は北東面よりも低く、かつ、その差



第3図 南西、北東斜面の垂直分布



7月2日の南西斜面 7月2日の北東斜面 9月1日の南西斜面 9月1日の北東斜面
含水比は、プロット $N_2 \sim N_4, S_2 \sim S_4$ における各深さ毎の平均値で表示した

第4図 南西、北東各斜面の乾燥様態の比較

は次第に開いている。

つぎに、各斜面の土壤の乾燥状態の差異をみるために、測定値中で最も乾燥している9月1日の土壤水分の垂直分布を第3図に示す。南西斜面と北東斜面の含水比（各3プロットの平均値）の差は、わずか2%であるが、水分の垂直分布の様子は異質であることが注目される。すなわち、南西斜面が表層および下層で乾燥し、中層で比較的湿潤であるのに反して、北東斜面では対称的に分布している。

つぎに、9月1日の土壤水分の垂直分布を、最も湿潤な7月2日の状態と比較して第4図に示す。第4b図から、南西斜面では7月2日と9月1日の含水比が表層から下層まで平行に移動していることがわかる。これに反し、北東斜面（第4-a図）では下層の含水比がほぼ一定で、乾燥期の影響の受け方が少ないことがわかる。

土壤水分収支に関する諸因子の検討

前項の結果から、成林した林分内においても土壤水分の季節変化があり、また斜面方位によっても異なることが認められた。一定地区における土壤水分収支は、次式によって示すことができる。

$$A = B + C - (D + E + F + G)$$

ただし、
 A は土壤水分含有量
 B は降水量
 C は他の地区からの移入水分量
 D は地表面からの蒸発量
 E は植生からの蒸散量
 F は他の地区への移出水分量
 G は植生、地被物、地表の疎水性などによる降水しゃ断量

調査林地では B が一定とみなされ、C、F 頁は両斜面ともほぼ等条件にあると考えられる。したがって、両斜面の土壤水分条件の差は、上式のその他の負項、D、E および G の差によってもたらされると考えられる。そこで、それら 3 項に関係すると思われる諸因子の南西、北東両斜面における差異をみるために、つぎの検討を行なった。

1) 気象因子

i. 風向、風速および天気

7月15日から10月1日までの測定を行なった40日のうち、8時から16時までの峯部における風向、風速を1時間単位で集計し、その各時間における天気を観測時間の累計時間に対する相対頻度で表し、第1表に示す。なお、天気は調査地から1km離れた中幌内中学校のジョルダン日照計による記録を用いた。また、風向は両斜面に対面する方位 北から東にはさまれた方向から吹く風（以下北～東の風と略す）と南から西にはさまれた方向から吹く風（南～西の風と略す）に分けて集計した。これ以外の風向きは全集計時間の3%に満たなかった。この結果によると、北～東風の場合は雨なし曇の割合が多く、かつ風速が低いのに反し、南～西

第1表 風向、風速と天気の相対頻度

風 向	風 速 (m/sec.)	天 気				累計 時間
		晴	曇	雨	計	
北～東	0～1	0.10	0.17	0.02	0.29	173
	1～2	0.23	0.22	0.06	0.51	
	2～3	0.12	0.04	0.01	0.17	
	3～4	0.03	0.00	0.00	0.03	
	4～5	0.00	0.00	0.00	0.00	
	計	0.48	0.43	0.09	1.00	
南～西	0～1	0.01	0.00	0.00	0.01	75
	1～2	0.19	0.01	0.00	0.20	
	2～3	0.34	0.04	0.00	0.38	
	3～4	0.16	0.04	0.00	0.02	
	4～5	0.17	0.04	0.00	0.21	
	計	0.87	0.13	0.00	1.00	

第2表 南～西風が吹く時の地床風速比平均
(地床風速/峯風速)

峯風速の段階 (m/sec)	0～1	1～2	2～3	3～4
北 東 斜 面	0.10	0.13	0.16	0.12
頻 度 (単位時間数)	14	22	17	11
南 西 斜 面	0.00	0.07	0.18	0.23
頻 度 (単位時間数)	35	22	12	2

風の場合は晴天が多く、かつ風速も高い傾向が見られる。この南～西風が特に南西斜面の地表から水分を蒸発させ、その結果、南西斜面の強い乾燥をもたらすと仮定される。そこで、南～西風だけに限って、両斜面の地床における風速を第2表に示す。計器の不足のため、両斜面の風速測定が同時にできなかったため、峯の風速に対する別個に測定した地床風速の比で表示した。高風速時の資料が不足し、また、この方法は間接的であるから、両斜面の比較をする上で多少の誤差を含むと考えられる。しかし、同表から認められるように、風向を南～西に限定したにもかかわらず、南西斜面の地床風速は北東斜面に較べて大きいという傾向は認められない。これは、うっ閉した樹冠と、南西斜面に密生するササによる保護作用の結果と考えられる。このことから、風による地表からの蒸発量が、斜面方位による水分差をもたらす直接の要因とはならなかった。

ii. 気温および地温

林内において、6月16日から9月6日まで観測した最高、最低気温および16時の気温と地温を第3表に示す。これによると、南西斜面では最高気温および5cmの深さの地温が北東斜面よりも1未満の差で高いが、他の項目についてはほとんど差が認められない。これに関して、繁茂下の甘藷畑のうねの南、北面による地表温度差が、裸地と異なりほとんどみられないという三原（1965）の資料があり、林内気温については原田（1951）による資料があるが、本調査の結果もそれらと対応した。

第3表 南西および北東斜面の地温、気温の測定結果（ ）

月 日	地 温				最高気温		最低気温		16時気温	
	5cm		25cm		北東面	南西面	北東面	南西面	北東面	南西面
	北東面	南西面	北東面	南西面						
6. 16	8.4	8.9	9.0	8.7	20.3	21.0	6.1	5.8	8.0	7.8
17	9.0	9.2	9.0	8.8	14.0	14.3	6.3	6.2	14.0	14.5
19	8.9	9.5	9.2	9.4	21.0	22.3	5.8	5.7	9.5	9.4
28	-	-	-	-	25.8	27.8	5.3	4.9	10.3	10.0
29	9.5	9.7	9.6	9.9	10.7	10.8	8.8	9.1	10.2	10.5
30	9.1	9.8	9.4	9.4	11.9	12.3	6.9	7.4	7.8	8.2
7. 1	8.8	9.4	9.2	9.0	10.6	10.3	6.2	6.6	10.3	10.3
7. 25	18.5	19.6	16.7	16.5	-	-	-	-	-	-
26	16.5	16.8	15.8	16.0	-	-	-	-	-	-
27	17.0	17.5	15.5	15.5	21.8	23.2	13.8	13.7	21.8	22.3
28	16.4	16.8	15.6	15.5	22.3	22.6	13.9	14.6	15.8	15.0
29	14.4	15.3	14.5	14.7	14.9	15.2	11.8	12.2	14.3	14.6
30	-	-	-	-	20.0	21.3	10.6	10.6	19.8	20.2
8. 8	16.1	17.4	15.4	15.5	22.0	23.0	11.1	10.9	20.0	20.3
9	17.3	18.3	15.7	15.9	23.4	24.7	16.1	15.6	21.3	21.8
10	17.7	18.4	16.0	16.2	22.7	23.0	16.4	16.6	22.1	22.3
11	18.6	18.0	16.3	16.5	26.2	27.8	16.3	16.3	24.0	24.4
12	17.8	19.0	16.2	16.5	-	-	-	-	-	-
9. 2	15.2	16.0	15.0	15.0	-	-	-	-	-	-
3	14.8	14.9	15.0	15.0	19.6	20.7	13.3	13.2	15.8	15.8
4	13.7	15.1	14.2	14.3	18.8	19.4	9.6	10.0	16.6	17.1
5	14.0	14.9	13.7	14.7	20.6	22.8	10.1	10.3	17.2	17.3
6	13.5	14.6	14.1	14.2	20.2	19.8	10.8	10.8	16.5	16.0
平均	14.1	14.7	13.6	13.7	19.3	20.1	10.4	10.5	15.5	15.6

iii. 地床における水面蒸発量

8月1日から9月11日までの、林内および裸地における南西、北東両斜面の水面蒸発量を測定した結果を第4表に示す。原田(1951)は土壌表面からの蒸発量について、KITREDEの自由水面と林地での観測資料を掲示し、それが地表状態によって著しく変化することを指摘した。したがって、水面蒸発量は地表からの蒸発量の間接的指標とはならず、むしろ蒸発空間の温度、湿度、風速などによる蒸発条件を示すと考えられる。そこで、前項i, iiの照査実験とみなして検討する。この表から、林内では水面蒸発量が小さく、斜面方位による差も小さいことがわかる。このことは、i, iiにおいて林内の地床風速、気温および地温の測定値が、斜面方位によって大きな差を示さなかったことと対応すると考えられる。これに反し、裸地においては蒸発量が大きく、両斜面による差が著しいことから、裸地と等条件にある樹冠上においては、水面蒸発条件の差が林内より大きいと推定される。

第4表 林内および裸地の水面蒸発量 (ml)

観測地		晴										曇				
		平均										平均				
林内	北東斜面	1.0	1.0	2.0	1.4	1.8	2.2	3.1	3.0	2.5	2.0	1.4	1.2	0.5	0.8	1.0
	南西斜面	1.8	1.9	1.1	1.9	2.7	2.9	3.9	4.3	2.7	2.6	2.0	0.7	1.2	1.0	1.2
裸地	北東斜面	1.9	2.2	2.1	1.7	6.7	9.9	-	-	-	4.1	2.0	4.6	2.4	-	3.0
	南西斜面	5.8	9.9	4.4	6.9	9.1	18.0	-	-	-	9.0	2.1	4.7	2.5	-	3.1

2) 表層土壌の性質

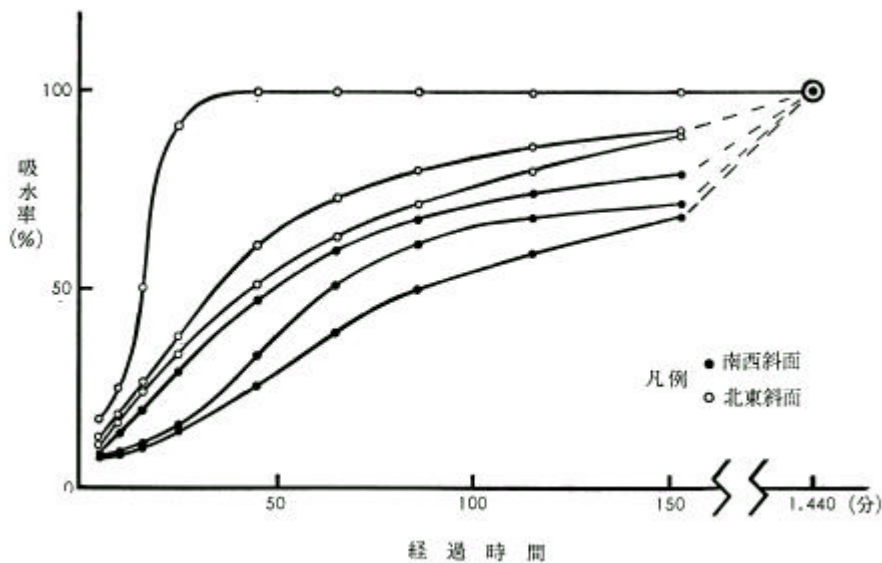
前に掲げた水分収支式におけるG項に影響を与えると思われる表層土壌の疎水性について検討する。

5月29日、7月2日、8月11日、9月29日に南西、北東両斜面の表層(地下5cm)から2mmの篩を通過した水分測定用土壌を用い、100cc円筒に自然状態(400cc円筒を用いた理学実験から、細土重量/細土体積を換算した)に詰め、円筒下面から24時間吸水をさせた結果を第5表に示す。これによると、北東斜面では各測定時期とも吸水量は大きな変化を示していない。南西斜面では、5月と7月の土壌は親水性を示したが、8月11日の乾燥した時期になると疎水性を示し、吸水量が極端に小さいことが注目される。このことは南西斜面では、8月11日よりもさらに乾燥したと思われる9月10日以前において雨水の土壌への浸透を防げたと推定される。しかし、この性質は土壌が乾燥した結果生じたものであるから、これが南西斜面の乾燥を直接もたらしたとは考えられない。

つぎに、比較的湿潤であった5月29日の水分測定用の表層土壌(深さ5cm)を用い、上と同じ方法によって吸水速度の実験を行なった。吸水経過の各時点における吸水量を、24時間後の吸水量に対する百分率で表示し、吸水速度を調べた(第5図)。この試料については、南西、北東両斜面による吸水量の差は第5表に示すように認められなかったが、吸水に要する時間に差が認められ、南西斜面の表層土は吸水しにくいことがわかった。このことは前の吸水量実験の結果とともに、南

第5表 細土100mlの24時間浸水後の吸水量(ml)

プロット	採取月日				
	5.29	7.2	8.11	9.29	
S	2	25	20	7	29
	3	27	25	5	9
	4	28	30	9	31
N	2	24	29	35	31
	3	25	30	29	32
	4	26	28	32	23



第5図 南西および北東斜面表層土壌の吸水曲線

西斜面の土壌水分収支を不利ならしめる一因と考えられる。

以上のうつ閉した林内における気温、地温、風速、水面蒸発量などは、林地を覆う厚い樹冠による2次的しゃ断作用を受け、いずれも南西、北東斜面による差は認められず、南西斜面に生じた強い土壌乾燥をもたらす直接要因とはならないことが明らかである。しかし、裸地の南西、北東斜面による水面蒸発量の差が著しかったことから推定されるように、これと等条件下にあると思われる樹冠上の気象条件の差によって、蒸散量(水分収支式 E 項)に差を生じ、それが南西斜面の土壌乾燥をもたらす主な要因となるものと推定される。今後は樹冠上の気象条件、蒸散量、地被物による降水しゃ断作用などについて調査し、斜面別の土壌水分変化の差をもたらす機構を明らかにしたい。

摘 要

森林土壌水分の季節変化と、斜面方位による土壌水分の相違を明らかにするために、成林したトドマツ人工林内に固定プロットを設け、1967年5月29日～9月29日に土壌水分の測定を行なった。

1. 土壌水分は降水量とともにほぼ平行的に変化するが、乾燥が継続した後の小降雨量は、土壌水分の増加をもたらさなかった。調査期間中の水分変化は、含水比で20%の差を示した。

2. 南西斜面と北東斜面の土壌水分差は、夏の乾燥期から9月下旬に向って次第に大きくなることが認められた。また、湿潤と乾燥時の土壌水分の垂直分布には、南西、北東斜面によって特徴的様態 南西斜面は北東斜面に較べて、下層まで乾燥する が認められた。

3. 林内気温、地温、地床風速など、土壌水分収支に関係する因子について、南西、北東斜面の観測資料を比較検討した結果、差が認められなかった。

4. 南西、北東斜面の土壌の吸水実験によれば、南西斜面の表層土壌は北東斜面より疎水性を持つことが認められた。

付 表 土 壤 含 水 比 測 定 結 果 (%)

プロット No.	試料 採取深 (cm)	南 西 斜 面						北 東 斜 面					
		採 取 月 日						採 取 月 日					
		5.29	6.19	7.2	8.11	9.1	9.29	5.29	6.19	7.2	8.11	9.1	9.29
1	5	64.5	58.5	103.2	101.1	36.5	45.4	54.4	65.0	58.8	31.9	38.4	40.8
	15	45.6	44.6	43.1	54.9	33.8	30.0	52.4	52.9	57.5	30.2	40.0	42.2
	25	45.5	46.9	46.8	41.6	34.5	44.0	49.2	49.0	60.0	34.5	44.0	51.9
	35	48.0	44.0	43.8	40.2	31.2	40.8	51.1	51.3	52.1	31.8	37.3	53.5
	45	40.6	43.8	45.1	38.5	28.8	31.8	49.7	52.2	51.8	30.8	38.4	53.9
2	5	38.3	40.4	40.6	27.3	30.0	41.3	85.9	64.9	83.8	56.6	28.2	42.7
	15	46.0	43.7	47.1	34.6	32.8	46.3	49.2	37.1	39.5	35.4	25.8	42.9
	25	47.4	45.6	50.0	35.9	32.9	41.9	43.7	41.3	40.5	38.8	27.2	40.5
	35	42.7	45.6	45.7	32.7	32.3	39.7	49.8	41.5	39.4	41.4	29.1	40.0
	45	38.4	42.9	46.4	26.6	25.2	28.8	43.5	42.9	39.5	40.9	36.8	39.8
3	5	43.6	37.8	43.4	38.7	28.2	38.0	40.3	61.7	55.9	39.4	61.0	30.9
	15	49.0	44.5	51.6	39.5	33.2	37.8	44.9	43.0	40.0	32.9	37.4	36.9
	25	48.9	47.3	47.8	38.1	31.6	33.6	50.7	52.0	55.6	33.6	30.2	40.9
	35	50.3	46.4	43.2	38.1	26.5	33.5	54.8	54.1	47.0	42.3	44.3	46.0
	45	38.1	37.8	32.4	34.1	25.4	32.0	44.9	43.7	37.6	33.3	39.0	54.7
4	5	47.7	70.1	53.5	36.1	31.0	41.0	43.2	49.4	70.9	37.8	32.6	39.3
	15	52.5	47.8	52.3	35.0	34.6	44.8	39.8	41.4	42.1	28.7	25.7	37.2
	25	52.2	44.6	52.0	39.6	37.5	39.5	32.8	36.8	55.6	32.6	28.4	39.0
	35	43.3	36.7	46.0	39.4	33.1	39.4	46.3	41.6	47.2	39.1	29.2	42.1
	45	39.2	34.9	41.4	34.1	27.4	29.3	38.7	46.5	40.0	39.8	35.8	39.9
5	5	62.5	69.2	57.1	69.1	43.9	57.4	63.2	86.6	73.0	87.3	62.0	46.9
	15	49.8	48.4	53.4	44.2	34.4	47.1	49.0	43.2	42.9	53.2	36.5	36.3
	25	49.5	44.5	45.4	44.7	38.6	40.3	50.9	41.6	44.1	32.4	32.3	43.2
	35	44.6	41.7	42.5	40.6	35.7	34.0	50.6	49.6	48.2	37.0	40.3	48.9
	45	38.1	37.8	32.4	34.1	25.4	32.0	44.9	43.7	37.6	33.3	39.0	54.7

引 用 文 献

原田 泰 1951 森林気象学 320p. 朝倉書店

蔵本正義・永桶留蔵 1959 トドマツの適地に関する研究(第10報) 農林省北海道支場年報 11-16

三原義秋 1965 農業気象 229p. 地人書館