

## 森林の物質循環と地位との関係について II

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	堤, 利夫 片桐, 成夫
巻/号	56巻12号
掲載ページ	p. 434-440
発行年月	1974年12月

## 論 文

## 森林の物質循環と地位との関係について (II)

## 斜面の環境勾配と乾湿度指数

堤 利夫\*・片桐成夫\*\*

The Relationship between Site Condition and Circulation  
of Nutrients in Forest Ecosystem (II)

## Moisture Index as a Means of Evaluation of Site Condition

Toshio TSUTSUMI\* and Shigeo KATAGIRI\*\*

**Summary:** Studies were carried out to examine the mineral cycling of forests which have developed on steep slopes and which have the varying environmental or site conditions. Twenty sample plots of a deciduous broad-leaved natural forest were selected along slopes. Site conditions differed in each plot. It was necessary to evaluate the site condition of the plot to compare the rate of cycling among plots. The moisture index was adopted as the index of site condition. In the present paper, the validity of moisture index as a means of evaluation of site condition is examined. The index estimate is based on the floristic composition of trees and their number, and ranged from 0 to 300, as the floristic composition changed from mesic to xeric. Though there was a general tendency for the moisture index to become greater with upward slope, the gradient of moisture index was different for each slope and for each part of the slope. Coefficient of exposure, mean tree height, moisture content of  $A_0$  layer and top soil, rate of decomposition of cotton cloth, and amount of dry matter of  $A_0$  layer were measured for each plot. Changes of the above mentioned factors along the slopes corresponded with change of moisture index, and there were fixed relationships among them regardless of difference of slope. In the area studied, the distribution of tree species along slope had been determined as result of the study on vegetation, so that the estimation of moisture index was not laborious. As far as the matured broad-leaved natural forest is concerned, moisture index can be taken as an index to compare the site or environmental conditions along slopes.

**要 旨:** 斜面における環境の変化に対応する森林の物質循環を調べる目的で、京都府北部の天然生落葉広葉樹林において計 20 個のプロットを設定し、物質の集積量、収入、支出の速度を測定した。本報告は斜面における環境の勾配を数量化するものとして用いた乾湿度指数について検討したものである。乾湿度指数とは植生の種組成と個体数に基づいて、その地点の乾湿度を 0 から 300 の数で表わしたもので、数の大きいほど乾性である。本調査地では一般に斜面の下部から上部に向かって乾湿度指数は増大したが、その度合は斜面によって違っていた。各プロットで受光空域、平均樹高、 $A_0$  層および表層土の含水率、木綿布の分解速度、 $A_0$  層の集積量をそれぞれ測定し、乾湿度指数との関係を求めた。乾湿度指数とこれらの諸要因との間には、斜面に無関係に、おおよそ一定の関係が認められた。従ってこの指数を本調査における各プロットの環境を表わすものとして使用することができると考えられる。

## 1. ま え が き

斜面においては主に水、熱の再配分を通して、環境は斜面に沿って変化する。土壌の性質や植生の変化はその現われである。その変化は地形、気象など様々の要因の

影響の下で一様ではない。従って、斜面上の様々の位置における物質の集積や循環を相互に比較するため、斜面上のある地点の環境をなんらかの形で数量化できれば好都合である。このために、前報<sup>1)</sup>では乾湿度指数を用いた。

\* 京都大学農学部 Fac. of Agr., Kyoto Univ., Kyoto

\*\* 島根大学農学部 Fac. of Agr., Shimane Univ., Matsue

表-1. 調査プロットの概要 (京都府北部, 京大産生演習林, 野田畑谷)  
General description of the sample plots (Kyoto Univ. School Forest, Kyoto Pref.)

	N 0,1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	
Altitude (m)	680	700	715	725	735	715	695	705	
Inclination (°)	30	37.5	24	19	38.5	42	27	30.5	
Distance from ridge (m)	67.5	41	0	0	0	39.5	73	51	
Stand density no/ha.	433	1289	2737	3808	4856	1009	561	1016	
Basal area (m <sup>2</sup> )	36.4	97.9	19.9	25.6	33.4	30.9	39.8	35.8	
Mean DBH (cm)	23.7	17.6	9.3	8.6	8.4	15.3	25.3	16.4	
Mean height (m)	12.5	6.5	7.9	6.0	9.5	10.9	15.1	13.7	
Moisture index	67	170	232	236	250	170	40	106	
Vegetation	トチノキ ミズキ イヌシデ ブナ	ブナ スギ ミズナラ イヌシデ	リュウブ ミズナラ クリ コナラ	コナラ ミズナラ ネジキ マルバマンサク	ミズナラ ネジキ ヤマウルシ マルバマンサク	リュウブ ブナ クマシデ コハウチワカエデ	ミズキ サワグルミ ブナ	クマシデ ウワミズザクラ	イヌシデ エゴノキ

今回はこの指数が斜面における環境の勾配を表示するものとして妥当かどうかについての検討を行った。

2. 調査地の概要

前報<sup>1)</sup>で説明したマクラ谷, ヒツクラ谷の2斜面のほか, ノダハタ谷における9プロットを追加した。追加したノダハタ谷における9プロットの概況を表-1に示した。

これらはいずれも, 斜面下部から上部に向かって連続的に設定したプロットの系列からなっている。マクラ谷斜面の系列(5プロット)をM斜面, ヒツクラ谷斜面

の系列(6プロット)をH斜面, ノダハタ谷斜面の系列(9プロット)をN斜面と呼ぶ。N斜面はN1~N3のもの, N5~N7のものとの2系列を含んでいる。なお, N0はN1のサブプロットで植生, 位置は同じである。N4はN3から尾根に沿ってやや上部の尾根上に, N8は南斜面の斜面下部に設けた。各斜面の地形縦断面は図-1に示してある。

3. 乾湿度指数についての検討

1) 乾湿度指数について

乾湿度指数とは WHITTAKER<sup>2)</sup>の環境傾度分析の手法を用いて行った当調査地の森林植生の報告<sup>3)</sup>をもとにし, 植生からその地点の乾湿度を量化したのである。これは種の持つ分布の特性に応じて, 種をそれぞれ湿性, 弱湿性, 弱乾性, 乾性に分類し, それぞれに0, 1, 2, 3の評点を与え, 毎木調査によって得られた各プロットの種組成と個体数を用いて, 各プロットの評点を求めたもので, これを乾湿度指数とした。

すべてが湿性の種からなる場合, 評点は0となり, すべてが乾性の種からなる場合, 評点は300 (3×N/N×100, Nは個体数)となるから, 乾湿度指数は0から300の間の数字で表わされ, 評点の増大は乾性の度が高まることを示すことになる。

本調査地の20プロットでは乾湿度指数が40から288にわたり, 各プロットはこの指数で相互に比較されることになる。

評価は高木層と低木層とに区別して別々に行うから, 両者は必ずしも一致しないが, 図-2に示したように, 同一プロットにおける2種類の乾湿度指数が大きく違うことはなく, ほぼ1:1の関係を示した。従って, ここでは高木層の値を用いた。

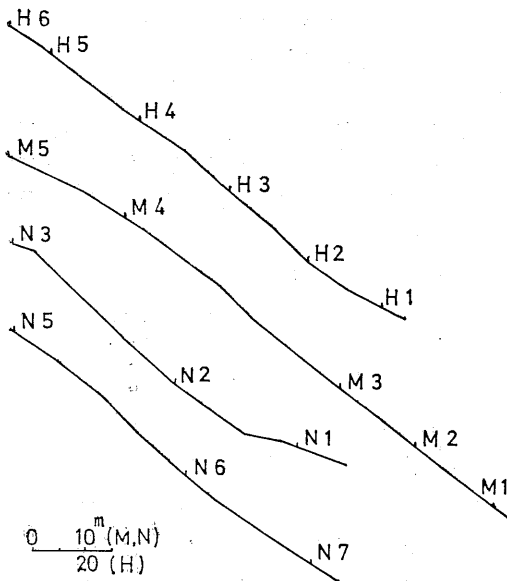


図-1. 調査地の地形縦断面  
Longitudinal profiles of slopes studied

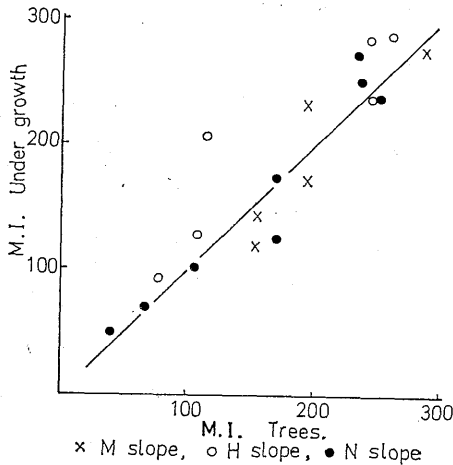


図-2. 高木層の乾湿度指数 (M.I.) と低木層のそれとの関係

Relationship between moisture index (M.I.) based on tree species and M.I. on undergrowth species

このようにして求めた乾湿度指数が斜面における環境の勾配を示すものとして妥当かどうかをみるために、同時に測定されたいくつかの環境要因などとの関係を求めた。

2) 乾湿度指数と尾根からの距離

各斜面ともに下部から上部に向かって乾湿度指数が増大する傾向があった。そこで斜面上での各プロットの位置を表わす最も単純な方法として尾根からの距離を求め、両者の関係を求めた(図-3)。ここでは各斜面で最上

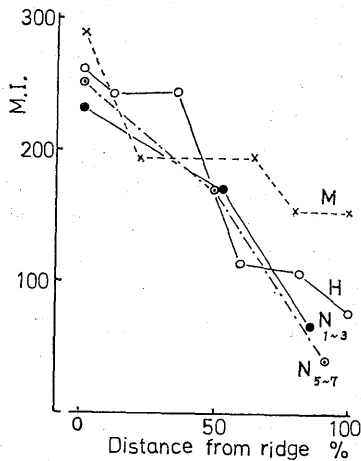


図-3. 尾根からの距離 (相対値) と乾湿度指数 (M.I.) との関係

Relationship between moisture index (M.I.) and distance from ridge top

部のプロットを基点とし、それから各プロットまでの斜距離を斜面全長に対する相対値で表わした。

図に明らかなように、尾根からの相対距離が増すと乾湿度指数は低下する傾向を示した。いいかえると、各斜面で尾根が最も乾燥しており、斜面を下るに従って湿潤度が増すということになる。

しかし、各斜面で尾根からの相対距離に対応する乾湿度指数の低下の度合は一つの斜面内でも斜面間でもかなり異なっていた。これには斜面ごとに地形や方位などが異なることが関係しており、尾根からの相対距離という尺度は単純にすぎ、斜面形や方位などの要因による修正が必要となる。

この意味で流線域<sup>4)</sup>を用いるの方が優れているが、地形図の精度の制約の下でよい結果が得られなかった。この点については今後、改めて検討したい。

3) 乾湿度指数と受光空域

斜面上の位置を表わすもう一つの方法として、受光空域を求めた。

受光空域は日照時間が周囲の地物によって制限を受ける度合を表わすものであるが、必ずしも光だけでなく、日照時間によって代表される地形的条件に伴う様々な環境要因の複合である。

受光空域は調査地点において 30° ごとに 12 方位において周囲の地物による遮蔽角をはかる。円の 12 方位において遮蔽角の正弦を円周から中心に向かってとり、せばめられた空域を多角形で表わし、その面積を求め円面積に対する百分率で表わした<sup>5)</sup>。

このようにして求めた受光空域と乾湿度指数との関係を 図-4 に示した。

すなわち、受光空域の増大に応じて乾湿度指数は増大する傾向が認められ、3つの斜面を通じて両者の関係は密接であったといえるであろう。ただし、乾湿度指数が

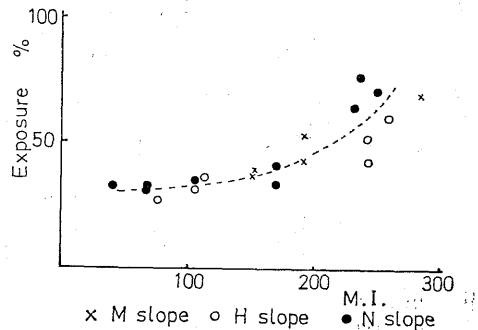


図-4. 乾湿度指数と受光空域との関係

Relationship between moisture index (M.I.) and degree of exposure

200 以上で N 斜面と H 斜面の違いがやや目立った。これは受光空域の求め方に、斜面の方位や形状を考慮にいていないことが一つの原因であると思われ、この点の検討が必要である。

4) 乾湿度指数と平均樹高

各プロットの林分の平均樹高と乾湿度指数との関係を図-5 に示した。なお、平均樹高の測定方法は前報<sup>1)</sup>のとおりである。

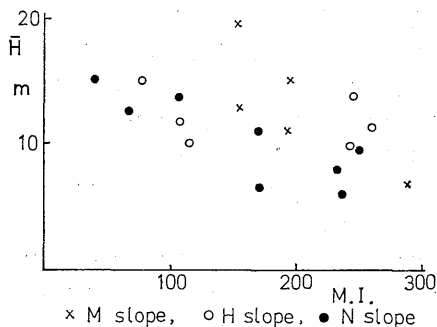


図-5. 乾湿度指数 (M.I.) と林分の平均樹高 ( $\bar{H}$ ) との関係

Relationship between moisture index (M.I.) and mean tree height of stands ( $\bar{H}$ )

すなわち、平均樹高は斜面、斜面上の位置によって変化するが、その変化は乾湿度指数と関係しており、斜面ごとの分離は目だたなかったといえる。

一斉同齢の人工林では樹高が地位を表わすよい尺度であるが、天然生の広葉樹林の場合、樹種や樹齡がプロットごとに必ずしも一定していないから、平均樹高の求め方やその意味において、人工林の場合のように単純ではない。このことが 図-5 において、点のバラツキを起こす一つの原因であろう。

しかし、この場合、抽出した供試木の樹齡は斜面上部で特に若いということはなかったから、平均樹高はおおよそ地位を反映するものと考えてよいであろう。すなわち、平均樹高の測定が厄介である天然生広葉樹林の場合、乾湿度指数を地位を表現する一つの指数として使うことができるであろう。

5) 乾湿度指数と A<sub>0</sub> 層、表層土の含水率

N 斜面の 9 つのプロットにおいて、4 月から 11 月まで、毎月下旬に、2 日おきに 3 回、A<sub>0</sub> 層 (L, F 層)、表層土の含水率を測定した。測定の便宜上、含水率は重量百分率で表わした。

含水率は天候に応じて変動するが、A<sub>0</sub> の L 層のそれはプロットが違っててもよく似た変化を示した。図-6 に

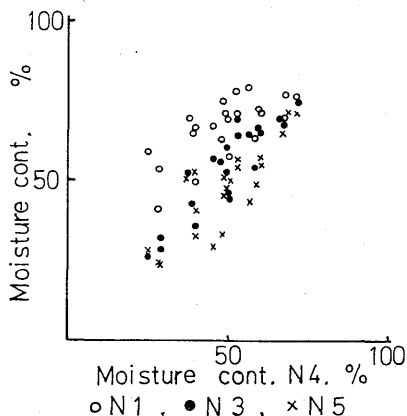


図-6. A<sub>0</sub>(L) 層の含水率のプロット間の関係  
Comparison of moisture content of A<sub>0</sub>(L) layer of N4 with other plots (N1, lower part of slope, and N3, 5, upper part of slope)

示したように、斜面上部にある N4 と N3,5 との関係は 1:1 で、同じように変動し、また含水率はほぼ等しい。これに対し、N4 に対する N1 (斜面下部) の関係は勾配がゆるい。すなわち、N4 が乾いて含水率が低下すると N1 もまた乾いていくが、その含水率の低下が N4 よりずっと少ないことを示している。従って、斜面下部では L 層の含水率の変化の幅が斜面上部のものより小さく、斜面上部のもののように低い含水率を示すことは少ないといえる。

表層土の含水率の変動はプロットごとに違っていた。これはサンプリング上の誤差のほか、表層土の含水率

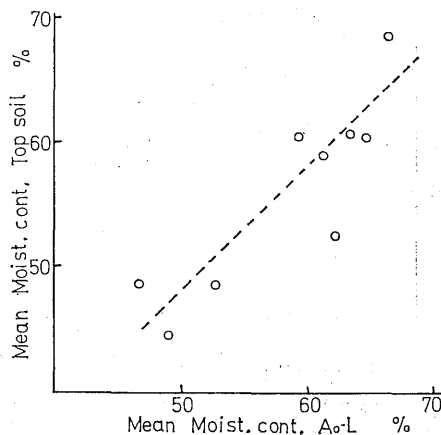


図-7. A<sub>0</sub>(L) 層と表層土の平均含水率の関係  
Relationship of mean moisture content of A<sub>0</sub>(L) layer and top soil

の変動はL層の場合ほど、天候の影響が直接的ではないということによるものであろう。そこで、全期間(22回測定)の算術平均値を求めて、L層と表層土の含水率の関係を求めると 図-7 のようである。

両者の間にはある程度、密接な関係があつて、L層の含水率が低い斜面上部のプロットでは表層土のそれもまた低かつたといえる。

なお、斜面上部にある3プロット(N3, 4, 5)と斜面下部にある3プロット(N0, 1, 7)をそれぞれまとめて含水率の度数分布を求めたのが 表-2 である。

表-2. A<sub>0</sub>層、表層土の含水率の出現頻度  
Frequency distribution of moisture content of A<sub>0</sub> layer and top soil

	Moisture content (%)			
	~45	45~55	55~65	65~
A <sub>0</sub> L N 3, 4, 5	33.3	31.8	19.7	15.2
A <sub>0</sub> F N 3, 4, 5	1.5	3.0	24.2	71.2
A <sub>0</sub> L N 0, 1, 7	6.1	10.6	28.8	54.5
Top Soil N 3, 4, 5	40.9	51.5	7.6	0
" N 0, 1, 7	0	12.1	56.1	31.8

すなわち、L層においては斜面下部で含水率55%以上のものが83%を占めたのに対し、斜面上部では約35%にすぎなかつた。表層土においても同様で、斜面下部では55%以上に集中し、斜面上部では55%以下に集中した。なお、F層は斜面上部のプロットにのみ認められたが、含水率65%以上が70%を越え、常に高い含水率を維持していた。

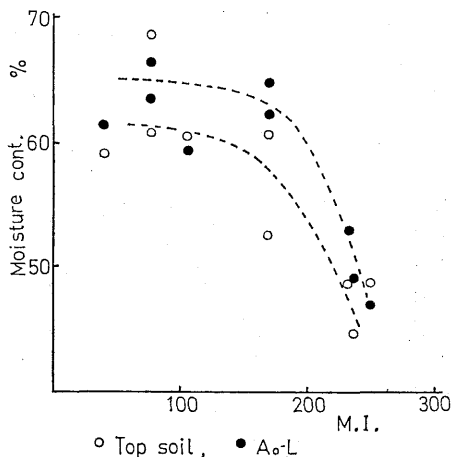


図-8. 乾湿度指数(M.I.)とA<sub>0</sub>(L)、表層土の平均含水率との関係

Relationship between moisture index (M.I.) and mean moisture content of A<sub>0</sub>(L) layer and top soil

さきに求めた全期間の平均値はプロットごとに違い、かなりのひらきがあつた。これを乾湿度指数を軸として図にしたものが 図-8 である。

すなわち、指数が約150以下の部分では、含水率のパラツキが大きく両者の関係は不明りょうである。一方、指数が200以上では含水率は明らかに低かつた。両者の関係はさらに検討を要するが、およそ、指数が大きくなるとA<sub>0</sub>層、表層土の平均の含水率は低くなる傾向があることを示していると考えてよいであろう。

6) 乾湿度指数と木綿布の分解速度

すでにみてきたように、本調査地では斜面に沿って環境に勾配があり、それは受光空域、平均樹高、A<sub>0</sub>層や表層土の含水率の変化として表わされ、しかもそれらは乾湿度指数とある一定の関係をもっていることがわかつた。このような環境の変化に対応して、土壤中の生物群もまた量的、質的に変化していると推定される。そこで、地表面における有機物の分解にかかわる土壌生物の活性を比較する目的で、木綿の布の分解速度を調べた。

5cm角の木綿の布片を5枚ずつ、各プロットの地表面においた。いずれの場合もA<sub>0</sub>層を除いて、鉱物質土壌に密着させて布片をおき、A<sub>0</sub>層はもとどおりにもどした。なお、急斜面では一部細い針金で布片を土壌に固定した。一定期間後に布片を回収し、重量の減少量を求めて分解量とした。

期間を長くすると布片は分解が進みすぎて回収が困難となり、短いと重量の変化量が少なくて、いずれも誤差が大きくなる。M, H斜面で予備測定を行った結果、本調査地の条件の下では期間を約2か月とするのが適当であると判断した。また、後述するように、同一場所でも布片の分解は期間の長短によって違うのは当然として、季節によっても違う。従つてプロット間の比較のためには期間と時期を一定しておく必要がある。

N斜面では4月から11月まで、期間2か月として4回、この方法で測定した。M, H斜面では期間、季節が1回ごとに異なるため、N斜面との比較が困難で、ここではN斜面での結果について述べたい。

表-3は2か月ごとに測定した布片の重量減少率の季節変化を示したものである。いずれも春、秋に比して6~10月の高温期の方が盛んであるという結果となった。また、いずれの時期においても斜面上部のN3, 4で最も低く、斜面下部で最も高く、斜面中部のN2, 6はその中間にあつた。夏季の分解の盛んなときに、N1では2か月で約70%の重量減少が起つたのに対し、N3, 4では30%を越えなかつた。また、4回の測定の平均値で比較すると、斜面下部の4プロット(N0, 1, 7, 8)

表-3. 木綿布の分解の季節変化 (重量減少率 %)  
Seasonal variation of rate of decomposition  
of cotton cloth (loss of weight, %)

	Season				平均 Average
	4/22~ 6/23	6/23~ 8/24	8/24~ 10/20	9/28~ 11/25	
N 0	—	63.0	58.5	31.0	50.8
N 1	34.7	70.6	67.5	47.9	55.2
N 2	34.5	61.6	56.3	30.0	45.6
N 3	13.5	14.7	21.8	9.5	14.9
N 4	9.7	26.1	28.7	8.6	18.3
N 5	15.6	33.8	29.9	10.8	22.5
N 6	15.1	36.7	38.4	19.5	27.4
N 7	51.2	66.3	58.0	37.5	53.3
N 8	65.6	78.4	65.9	36.8	61.7

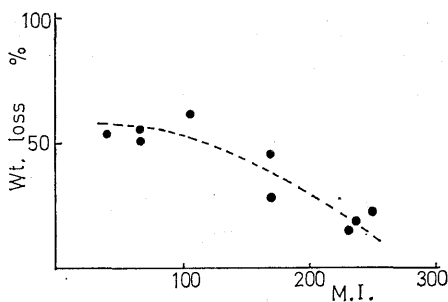


図-9. 乾湿度指数 (M.I.) と木綿布の分解 (重量減少率) との関係

Relationship between moisture index (M.I.) and rate of decomposition (rate of weight loss) of cotton cloth

ですべて 50% を越えたのに対し、斜面上部の 3 プロット (N3, 4, 5) では 20% 前後であった。すなわち、これらの斜面では地表面での生物活性が斜面に沿って大きな勾配をもっているといえよう。

これを乾湿度指数との関係でみたのが 図-9 である。布片の重量減少率は 4 回測定 of 平均値を用いてある。

すなわち、木綿布の分解は乾湿度指数の増大に応じて低下した。ただし、乾湿度指数が小さい部分では変化に乏しくなるようにみえる。

木綿布の分解と乾湿度指数との関係は H, M 斜面でも同じような傾向が認められた。従って、斜面に沿って環境が変化し、それに対応して地表面での生物活性にも勾配を生じ、それは乾湿度指数と密接な関係を持つと考えてよいであろう。

7) 乾湿度指数と A<sub>0</sub> 層の乾物集積量

斜面に沿って環境が変わり、土壤生物の活性が変化するとすれば、それは A<sub>0</sub> 層の乾物集積量にも反映していると予想できる。

各プロットで A<sub>0</sub> 層の乾物集積量を夏期に測定した。L 層については 1m<sup>2</sup> の方形枠を 4 つおいて測定し、F 層については 30cm 平方の枠をその中に 1 つずつ置き、丁寧に鉱物質土壌と分離し測定した。

A<sub>0</sub> 層量は斜面下部ではおおよそ 10 ton/ha 以下で、局所的な集積の変動を考慮すると、プロットごとの差は明らかではなかった。しかし、斜面上部において F 層が発達し始めると A<sub>0</sub> 層の集積量は急激に増大し、M5 では 60 ton/ha に達した。

斜面における A<sub>0</sub> 層量の変化を乾湿度指数との関係で表わすと 図-10 のようである。

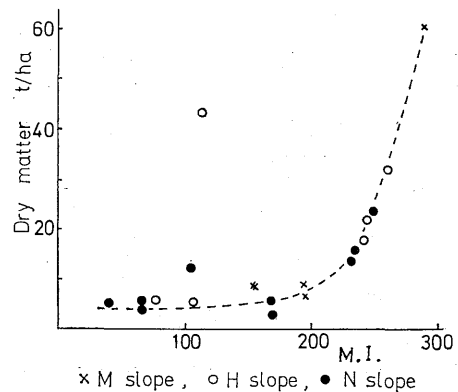


図-10. 乾湿度指数 (M.I.) と A<sub>0</sub> 層の乾物集積量との関係

Relationship between moisture index (M.I.) and amount of dry matter accumulated in A<sub>0</sub> layer

すなわち、乾湿度指数が 200 以下の斜面中、下部では A<sub>0</sub> 層の集積量の変化が少なく、乾湿度指数に無関係にほぼ一定としても差つかえないほどである。しかし、200 以上では主に F 層の発達に伴う乾湿度指数の増大に伴い A<sub>0</sub> 層の集積量は急激に増大していく。従って、両者の関係は双曲線に類似の形をとっている。このことは A<sub>0</sub> 層の集積は F, H 層の発達に関係して量的にも急激な変曲点を持つものであることを示すものといえよう。

このように、これらの斜面における A<sub>0</sub> 層集積量は幾分不連続的勾配を持つが、本調査地域の 3 つの異なる斜面における結果がすべて一様の結果を示したことから、これらの斜面における A<sub>0</sub> 層集積量の勾配は乾湿度指数と密接な関係を持つと考えてよいであろう。

4. ま と め

斜面ごとに地形、土壤などの諸条件が違うから、そこにみられる環境の変化は一様ではない。これらを共通に

比較しうる指標として乾湿度指数をとりあげてみた。

本調査地域の天然生落葉広葉樹林では一般に斜面に沿って植生の連続的な変化がみられる。種の分布の特性を用いて、これを乾湿度指数の変化として表わすと、ここでは斜面下部から上部に向かって、植生はしだいに乾性化し、従って乾湿度指数はしだいに大きくなった。しかし、斜面に沿って起こる変化の度合は尾根からの距離との関係で示されているように、斜面により、斜面の部分によって違う。

そこで、これを乾湿度指数に置き替えてみると、本調査地の場合、斜面下部から上部に向かって乾湿度指数が増大するのに対応して、どの斜面でもほぼ一様に、受光空域が増大し、平均樹高が低下し、 $A_0$ 層や表層土の含水率は低下し、木綿布の分解に示される地表面での生物活動は低下し、 $A_0$ 層の集積量は増大していく傾向があった。このような諸要因の斜面に沿って起こる変化は乾湿度指数の変化と、斜面が違っていても、すべて共通に一定の関係を示した。従って、これらの要因はすべて相互に関係しあい、それぞれにある関係を保って変化しているといえる。それ故、斜面に沿って環境に勾配のある場合、その勾配はこれらの要因のいずれかで表現することが可能である。

しかし、指標としては他の要因とは独立で、測定上の誤差が少なく、かつ測定が容易であることが望ましい。平均樹高は、前述したように、年齢が不揃いであり、樹種も同一ではない天然生広葉樹林の場合には精度の点で難点がある。また  $A_0$ 層 ( $L$ 層) や表層土の含水率は天候の影響が大きいから、ある期間の平均値を求めるためには相当の労力が必要で、測定がやっかいである。 $A_0$ 層の集積量は比較的安定しているが、それでも落葉が秋季に集中する落葉広葉樹林では季節によって量の変動が起こる。

乾湿度指数については、本調査地の場合、すでに植生

調査に基づいて各樹種ごとに評点が決定されているから、その測定に大きな労力がいらぬということ、プロットを中心としてある程度の面積の平均値を表現しているという利点を持っている。

地形的要因については、本調査地での解析、検討が不十分で、ここでとりあげた尾根からの相対距離、受光空域についても斜面の形状や方位の違いによって斜面ごとの比較が容易でないという欠点が残っている。

そこで現段階では植生(種組成)がその場の環境の複合的な表現であると考え、本調査の範囲内で、暫定的に乾湿度指数を斜面における環境の変化を表わすための一つの指数としたい。

しかし、植生はもともと多様な環境要因の影響の下に成立しており、相互に関係を持つのは当然であること、地域が変わり、植生が変わると相互比較が必ずしも成立しないということ、成熟した天然生林で使用できるとしても他への応用は困難であるなどの欠点がある。これらの点を考慮すると、この指数は一般に、広く応用できるものとは考え難く、より客観的な例えば地形的要因に置き替えていくための検討が必要となろう。

#### 引用文献

- 1) 片桐成夫・堤 利夫：森林の物質循環と地位との関係について (I). Litter fall とその養分量. 日林誌 55: 83~90, 1973
- 2) WHITTAKER, R. H.: Vegetation of the great smoky mountains. Ecol. Monographs 26 (1): 1~80, 1956
- 3) 「天然林の生態」研究グループ：京都大学芦生演習林における天然林の植生について. 京大演報 43: 33~52, 1972
- 4) 竹下敬司・中島康博：微地形及び土壌とスギの生長に関する森林立地学的研究 (II). 福岡県林試時報 16: 61~113, 1963
- 5) 鈴木時夫・一宮順治：九州中部丘りょう帯の常緑広葉樹林上限部における受光空域と植生との関係. 日生態会誌 18: 263~271, 1968

(1974年6月7日受理)