

〈論文〉

## 元口浸漬法によるコナラ、クヌギ単木の蒸散量測定

奥村武信\*・田中一夫\*・森石 学\*\*

Measurement of Transpiration by Oak Trees with the Butt Immersed in the Water

Takenobu OKUMURA\*, Kazuo TANAKA\* and Manabu MORIISHI\*\*

### Summary

Soil moisture dissipation due to transpiration by trees is the most important item relevant to the function of forest land in the conservation of water resource.

In this study, transpiration potentials through the whole trees of *Quercus serrata* Thunb. and *Q. acutissima* Carr. are measured using their respective cut butts immersed in water. Correlations between the transpiration potential and the characteristics of trees, that is, leaf area, area of sapwood and height, or some values of meteorological elements were analyzed. The specific transpiration potential in some stands were then estimated.

Estimated values, however, seems to be inadequate. By accumulating further data, the current method for measuring and evaluating should prove to be useful for estimating the transpiration potential in the forest regions. The problem that trees absorb water unnaturally through the cut butt is left, indeed.

### I は し が き

林木の蒸散作用による土壌水分の消失は、森林の水源かん養機能を論究するうえで極めて重要な要素である。しかしながら、低木や苗木の単木蒸散量を測定することはある程度可能であっても、高木や現実林分の蒸散量を測定することは困難であるうえに、蒸散現象が多様な要因により複雑な影響を受けるものであるから、その強度について十分信頼できる数値は未だ得られていないと言っても過言ではない。

筆者らは、胸高以下で切断した樹体を直立保持し、水槽に浸漬し、切断面からの吸水量を測定することにより単木の蒸散量(蒸散能といった方がいいかも知れない)を推定することを試みた。そして、林分立木調査の資料を用いて林分蒸散量を評価することを試みた。

---

\* 鳥取大学農学部砂防工学研究室 : *Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University*

\*\* 国土防災技術(株) : *Japan Conservation Engineers*

## II 測定方法

測定は、本学蒜山演習林のうち立木密度が中庸の広葉樹二次林内のコナラおよびクヌギを選んで行った。

5月下旬、7月下旬、8月下旬および10月上旬の晴天日を選び測定を実施した。このうち10月上旬の測定開始日は少し風が強かったが、その他は静穏であった。

1回にコナラおよびクヌギ各3本を選んで測定した。

選定した標本木は、切断後も立木姿勢が保てるよう、支架や周辺木を支柱とする吊索により支持しながら切断した。立木を切断して蒸散量を測定するばあい、樹液流動があまり活発でない日の出前に

表1 標本木の特性

		胸高直径 (cm)	樹 高 (m)	生葉重量 (kg)	葉 面 積 (m <sup>2</sup> )	切断部辺材 面積 (cm <sup>2</sup> )	辺 材 率 %	幹枝生重量 kg	樹 令 年
コ	5-A	8.0	9.4	0.87	4.6	32.9	45	24.9	36
	B	6.8	7.9	2.64	21.78	59.3	69	44.9	32
	C	6.4	7.7	—	—	32.5	66	16.9	31
ナ	7-A	7.3	10.0	3.19	25.65	16.9	24	34.8	28
	B	7.8	8.9	2.11	16.39	38.5	43	41.8	29
	C	9.6	12.4	4.29	31.73	75.8	48	76.8	42
ラ	8-A	10.1	8.7	0.90	6.83	42.2	43	36.3	28
	B	12.9	12.6	2.64	19.70	60.7	61	60.3	41
	C	12.3	11.6	2.15	14.77	59.6	52	56.6	32
ク	10-A	9.8	10.1	2.69	21.53	46.1	66	34.4	32
	B	11.2	9.1	2.32	16.57	36.7	40	53.5	34
	C	12.1	9.4	2.94	23.53	54.3	54	52.9	34
ヌ	5-A	8.9	9.5	2.32	8.84	71.6	67	49.1	37
	B	8.0	11.9	1.62	5.24	71.9	76	68.6	40
	C	8.2	9.4	—	—	34.7	75	24.5	26
ギ	7-A	8.0	11.1	3.69	17.58	69.3	62	75.7	36
	B	11.2	13.4	6.53	32.34	74.3	61	101.7	37
	C	8.0	10.6	3.96	22.33	68.3	67	49.5	38
ギ	8-A	10.4	11.1	2.34	10.38	48.6	69	43.1	34
	B	13.0	12.8	6.16	27.84	53.9	59	83.0	36
	C	11.5	9.0	2.07	11.09	46.8	45	59.2	43
ギ	10-A	15.3	13.0	5.69	28.01	69.6	60	99.5	39
	B	13.7	12.4	5.34	26.89	78.9	72	91.1	38
	C	13.6	12.7	5.72	29.27	71.9	73	107.6	39

処理することが望ましいのであるが、6本の標本木を処理するのにかなりの時間を要し、また暗闇では危険な作業が多いので、蒸散の盛んな時間に切断せざるを得なかった。

切断した標本木は、測定時間中に姿勢をくずすことのないようロープ等で固定するとともに、その切断面を速やかに水槽に浸漬した。浸漬槽には直径20cm、深さ40cmの薄鉄板製の円筒を使用し、これを支持台とともに樹幹下部に懸吊した。水槽を測定木に懸吊したのは測定木の重さによる支索の伸長や支柱にした周辺木の幹の曲がりなどのために時間経過とともに測定木が垂下しても、できるだけ一定の浸漬深を維持することを考えたからである。

以上の作業が終わった後の定時に、水槽側面の液面計がほぼ20cmの浸漬深に相当する水位を示すよう水量を調整し、測定開始時刻とした。そして、以後1時間毎にこの水位に合致させるために浸漬槽に補給しなければならない水量を計量し、これを蒸散量とみなすことにした。

なお、測定木から50~100m離れた小丘上の開放地に気象観測装置をおき、日射量、風速、気温、相対湿度および(直径1.2mの)水面蒸散量を測定した。

### III 測定結果と考察

#### 1. 蒸散量の時間変動

測定木の特性値を表1に示す。できるだけ規模のことなる標本を各期にとる予定であったが、結果

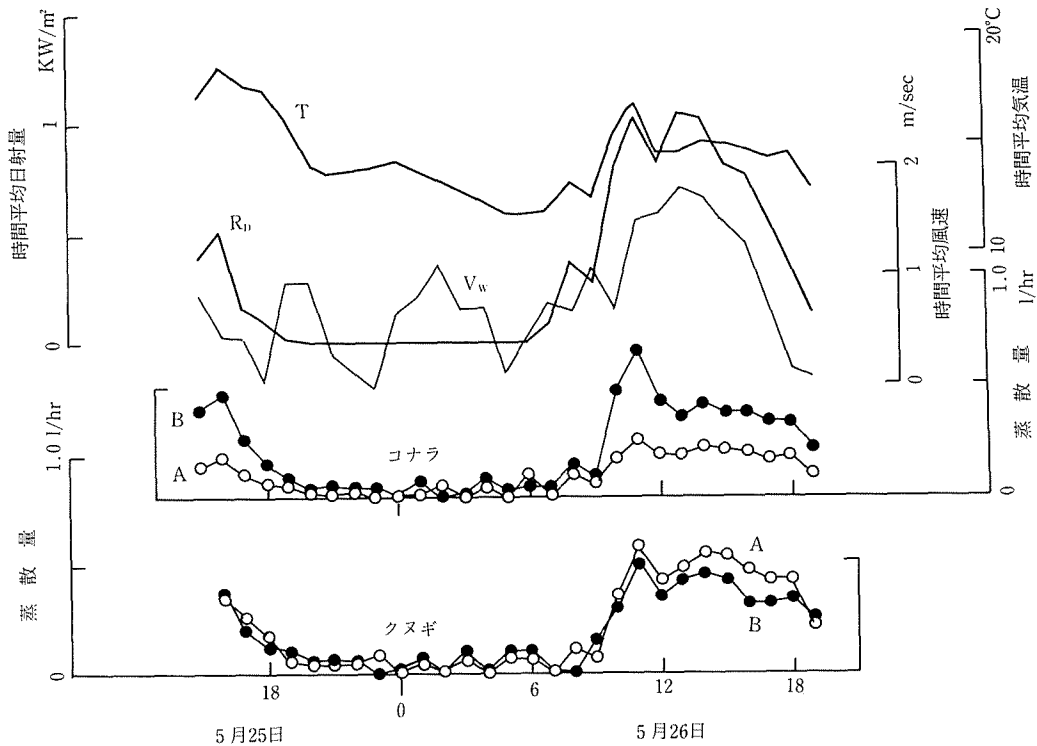


図1 時間蒸散量および気象要素の変動(5月)  
 T: 平均気温(°C);  $R_n$ : 平均日射量( $KW/m^2$ )  
 $V_w$ : 平均風速(m/sec)

からみると後ほど大きなものが標本となってしまった。これは、支柱となるべき樹の選定まで含めた実験計画がたてられていなかった不十分さと、測定木の懸吊等の作業に自信をつけていったことによるものと考える。

なお、5月に選定した標本木のうち葉量を記載していないコナラ、クヌギ各1本は、全葉を葉柄からていねいに除去した後（まだ緑色の今年枝は残存する）に、蒸散量を測定したものである。

各測定木の時間蒸散量および気象要素の時間平均値変動を図1～4に示す。

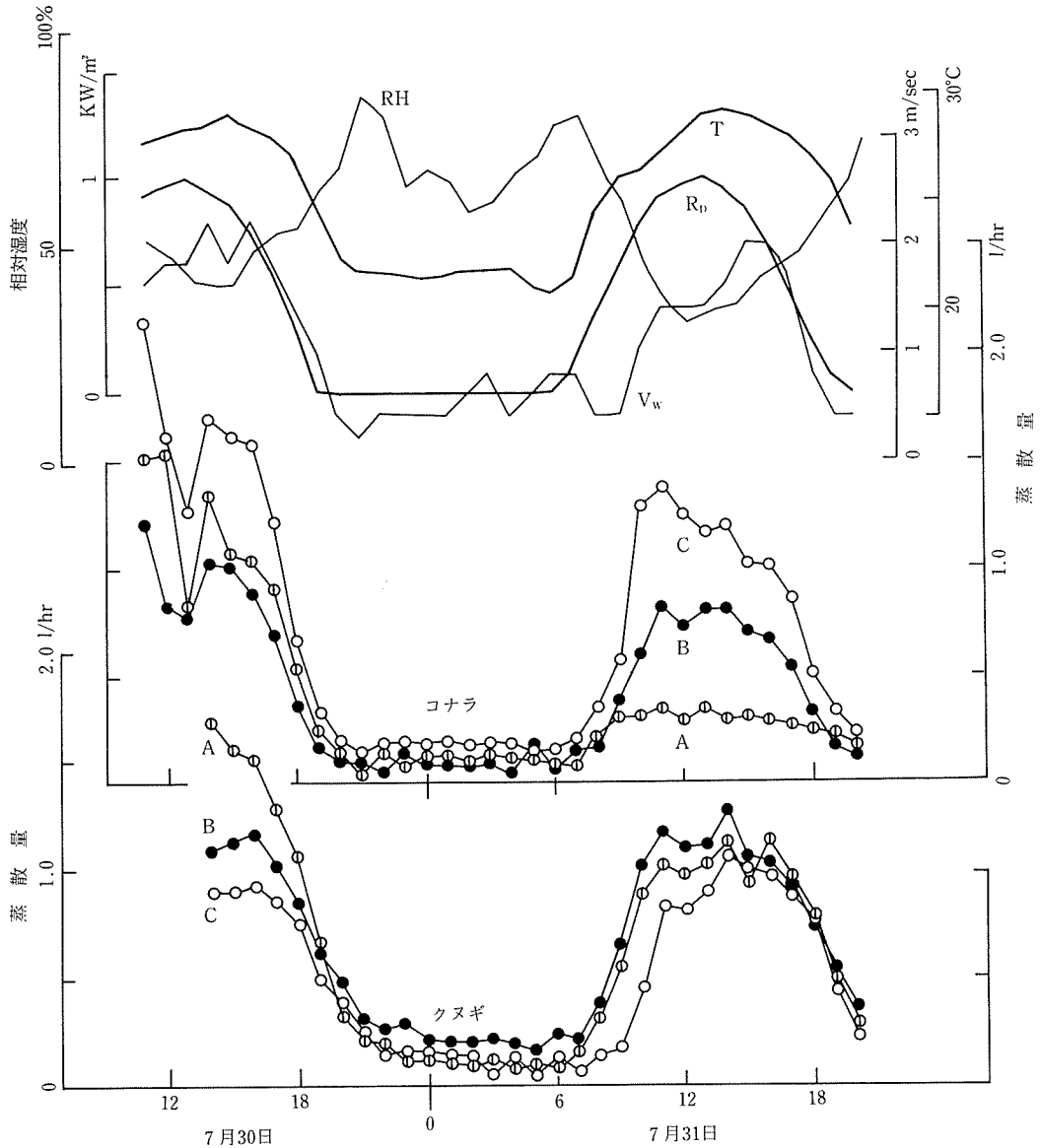


図2 時間蒸散量および気象要素の変動（7月）  
 (RH：相対湿度（%），その他は図1と同じ）

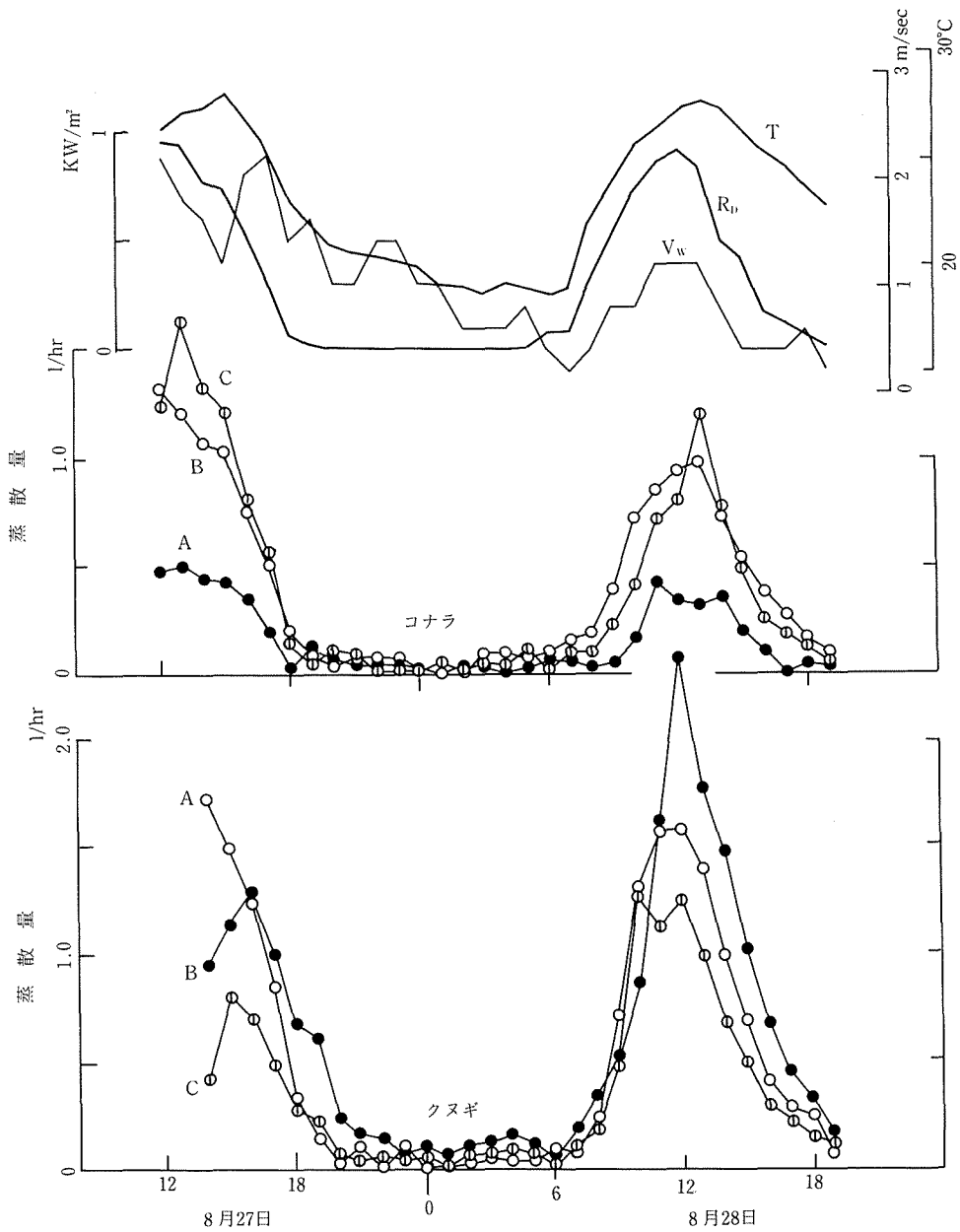


図3 時間蒸散量および気象要素の変動(8月)  
(気象要素の記号・単位は図1参照)

蒸散量が日射量や気温の変動に類似すること、湿度とは逆相であることなど、一般にいわれる傾向が十分読みとれる。

時間蒸散量と各気象要素の時間平均値との相関係数を各測定木ごとに調べるとつぎのとおりである。

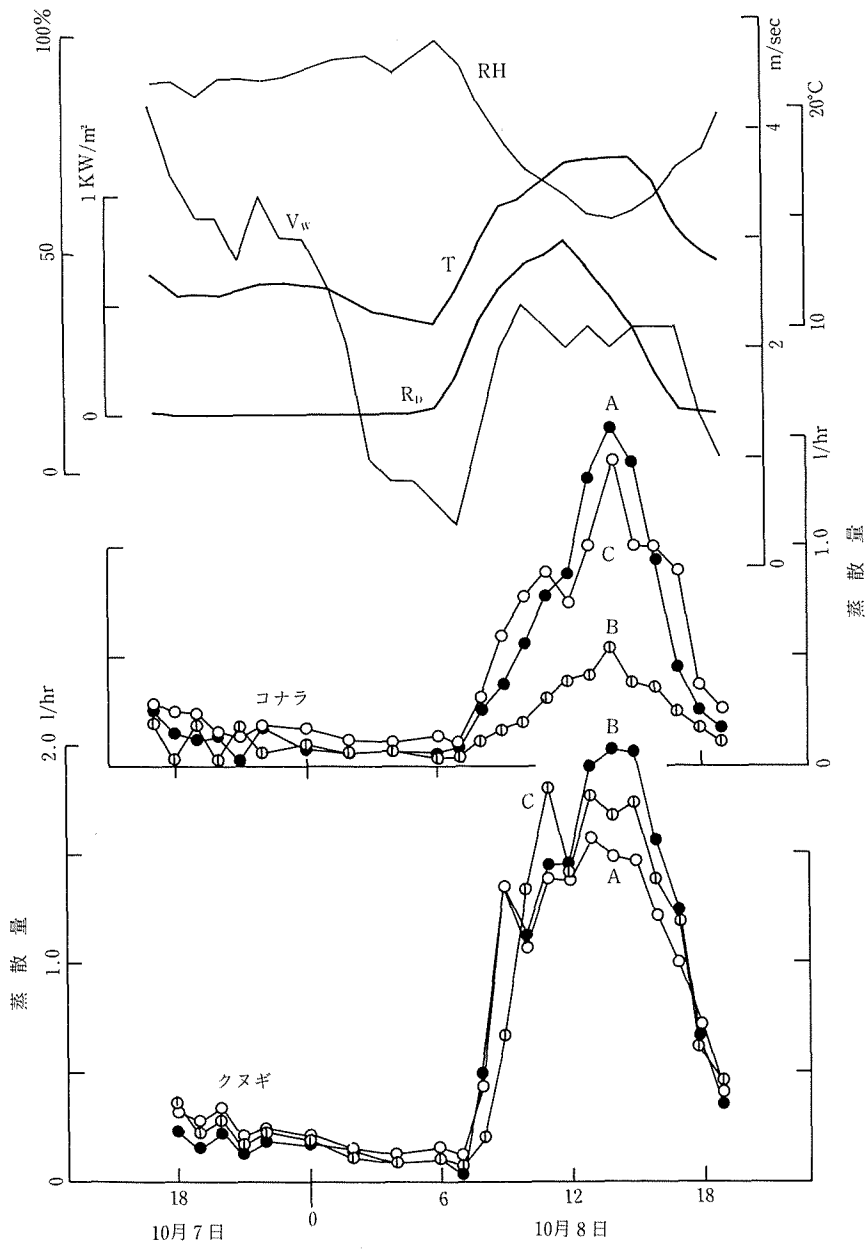


図4 時間蒸散量および気象要素の変動(10月)  
(気象要素の記号・単位は図1参照)

	コナラ	クヌギ
日射量	0.63~ 0.97	0.75~ 0.97
気温	0.51~ 0.91	0.52~ 0.96
風速	-0.03~ 0.88	0.02~ 0.88
相対湿度	-0.50~-0.87	-0.71~-0.95

風速との相関が非常に弱いことがあったのは、10月の測定時（とくにその前半）に時間平均風速が4.2m/secといった、立木が根元まで揺れるほどの強い風があったために蒸散作用に複雑な影響を及ぼしたことによると考えられる。この期のデータを除外すると、相関係数はコナラ・クヌギでそれぞれ0.46~0.88, 0.29~0.88となる。この場合、時間平均風速の最大値はせいぜい2.0m/secである。

## 2. 単木の特性値と蒸散量の関係

観測時間のうち1日目の日没後24時間の蒸散量をまとめたものが表2である。

5月に全葉除去した標本では、蒸散量は着葉標本の1/10~1/20である。林木の蒸散量のほとんどは気孔蒸散であり、クチクラ蒸散量はその1/10以下であると従来言われていることを確かめることができる。

そこで、日蒸散量と葉面積の関係をみたのが図5(a)である。各測定時ごとに気象条件が異なるのであるから、両者に一定の関係を見出すことのできないのは勿論である。10月のコナラの測定値のばあいやっと90%の安全率で直線関係がみられるにすぎない。高い適合度の関係式を得ることのできない1つの理由として、標本木の林分における（平面的ばかりではない）位置の影響が挙げられよう。

さて、樹液の流動に関与しているはずの辺材部の切断面で計測した面積と日蒸散量の関係を示したのが、図5(b)である。測定値に対する直線関係の適合度を検討してみると、7月期のコナラ、クヌギで99%の安全率で、また10月期のクヌギで95%、8月期の両者で90%の安全率で直線性がみられ、葉面積よりも高い相関のあることがわかった。この辺材部面積は後述するように立木の特性値のうち最も簡便に測定できる胸高直径と強い関係をもつものであるから、辺材部面積の蒸散量に対する高い相関性は、単木蒸散量を林分蒸散量にふえんするばあい非常に都合のよいものとなる。

比較的計量しやすいもう1つの立木の特性値である樹高と日蒸散量の関係を、図5(c)に示す。樹高は葉量~蒸散量の関係と同程度の強さで蒸散量に対して関与していると言えよう。

なお、この研究に着手した時筆者らは、蒸散は開葉期に比較的強く落葉前にはかなり弱いものとなると予測していたが（5月の開葉期および落葉期前の10月に測定日を設定したのも、それを明らかにしなかったからである）、これら3葉の図を見ると、この考えは誤りかも知れない。このことについては、今後詳細な観測で確かめたい。

表2 日蒸散量

コ	5-A	2.20/day
	B	4.57
	C	0.24
ナ	7-A	4.69
	B	7.72
	C	12.70
ラ	8-A	2.51
	B	6.77
	C	5.99
ク	10-A	9.65
	B	4.05
	C	10.72
ヌ	5-A	4.83
	B	4.06
	C	0.21
ギ	7-A	10.78
	B	13.81
	C	10.07
ギ	8-A	9.88
	B	13.23
	C	7.79
ギ	10-A	14.91
	B	16.19
	C	15.30

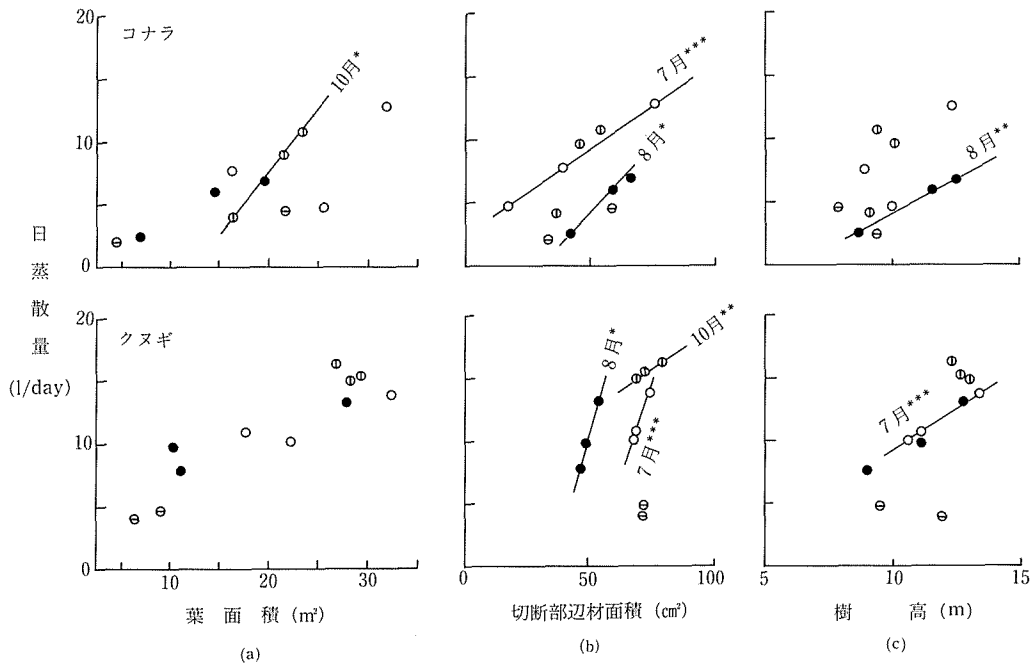


図5 日蒸散量と木の特性値との関係

\*危険率10%で有意, \*\*危険率5%で有意, \*\*\*危険率1%で有意

### 3. 林分蒸散量の試算

日射量, 気温, 風速の気象要素および辺材面積, 葉面積, 樹高の木の特性値は, 相関性の強弱はあるけれども, いずれも蒸散量に影響を与える因子であることを確めた。そこで, この6因子を使ってコナラ, クヌギ林の林分蒸散量を試算してみよう。気象要素のうち相対湿度も蒸散量に対して高い相関をもつものであるが, 4回の観測のうち2回は観測値が揃わなかったので省略せざるを得ない。先に検討した気象要素と蒸散量の相関は, 時間平均値の時間蒸散量に対するそれであったが, ここでは表2に示した蒸散量を観測した時間内の平均値として扱うことにする。

また, 10月のばあい風速がかなり大きかったので, 蒸散強度に対して7, 8月とは異なる影響があるものと考えられるので, 静穏であった7, 8月のデータのみについても検討してみる。

さらに, 樹木の生理的季節により蒸散強度が異なることは当然思考されるところであるので, 各期について木の特性値によってのみ蒸散量を推算する式も求めてみた。

ところで, 図5(b)で検討した切断部辺材面積は一般性をもたない。そこで, 皮付き断面積に対する辺材部面積の比が地上数10cmから胸高ぐらまでは一定であると仮定し, 胸高部での辺材面積に換算して使用することにした。

独立変数としてとりあげる要因の数に比し従属変数となる蒸散量の観測値の数が少ないこともあってか, 以上いずれのばあいも一応非常に高い確度の推算式を得ることができた。それで, 今回測定し



た林班および近傍林班で、本学林学科森林計画学研究室が数年前に実施した現存量調査のデータのうち表3に掲げた4つの標準地での値を使って、林分蒸散量を推定する。表3のうち葉面積指数Aは、乾葉重の実測値と今回筆者らが得た乾葉重あたりの葉面積の値を用いて計算したものである。

蒸散量推算式は指数式としたので、単木ごとの葉面積が必要である。ここでは次の手順で単木の葉面積を推定することにした。すなわち、葉面積  $A_e$  は  $D^2H$  の指数式で表現できると考え、表1の実測値(5月のそれは除外した)からその関係を求めると、あまり信頼性の高いものではないが、コナラ、クヌギともに  $A_e = k (D^2H)^{0.42}$  の関係を得る。しかし、得られた  $k$  を使って表3にかかげたコナラ林分の葉面積を求めると、かなり不足する。そこで、コナラ純林3林分での葉面積合計(表3の指数Aを根拠とした)をこの式で表現するためには  $k$  がいくらであればいいかを検討したところ1.57が適当であった。今回選定した標本木のうち数本はこの式に近いものがあったので、コナラ、クヌギともに葉面積は  $A_e = 1.57 (D^2H)^{0.42} (m^2)$  で表現できるものとする。この式を使って計算した各標準地の葉面積指数が、表3の指数Bである。コナラの3林分に対してそれぞれ異なる  $k$  を使った方がよかったかも知れない。

さて、単木の胸高部辺材面積  $A_{sw}$  も推定しなければならない。辺材率を胸高直径(DBH)および樹高により表現する式を追求したが、信頼度の高い式を得ることはできなかった。それで、 $A_{sw}$  を  $(DBH)^2$  のみ関係づけて推定することにした。結果は、

$$\text{コナラ: } A_{sw} =$$

$$0.287 (DBH)^{2.14} (R=0.985)$$

$$\text{クヌギ: } A_{sw} =$$

$$0.756 (DBH)^{1.83} (R=0.943)$$

クヌギのばあいは大径木ほど辺材率が減少するけれども、コナラではわずかずつ増大するという式になってしまうが、この式を採用する。

以上種々検討した式を蒸散量推算式にまとめると、かなり不合理な部分が残ってしまう。けれども、1) 3期について気象要素を含めた式、2)

表3 標準地林分の状況

	コナラ純林			コナラ、クヌギ 混交林
	I	II	III	
面積 $m^2$	400	500	600	625
立木密度 本/ha	2,350	1,760	2,120	660
樹高 (m) 平均	9.6	9.0	8.7	12.1
標準偏差	2.6	2.3	2.8	1.8
胸高断面積合計 $m^2/ha$	16.8	12.4	20.5	15.5
葉量 ton/ha	3.8	1.9	3.7	3.7
葉面積指数 A	6.4	3.3	6.2	—
葉面積指数 B	5.8	4.4	5.1	3.1

A: 乾重量あたり葉面積による

B: 胸高直径および樹高にもとづく推算式による

表4 林分蒸散強度の試算値

(mm/day)	コナラ純林				コナラ、クヌギ 混交林	水面蒸発量
	I	II	III	平均		
1	3.4	2.4	4.3	3.4	1.7	—
7月 2	2.6	1.5	2.7	2.4	1.2	
3	2.6	1.7	2.4	2.2	1.0	
8月 1	1.7	1.2	2.2	1.7	1.1	2.6
2	1.0	0.7	1.0	0.9	0.8	
10月 1	1.7	1.2	2.2	1.8	1.2	1.7

7, 8月期についての同様の式および3) 7月についてのみ胸高直径および樹高だけから推定する式によって林分蒸散強度を試算した結果が, 表4である。

表4には, 開放地で測定した水面蒸散量も併せ示した。

### III お わ り に

樹幹で切断した単木の蒸散量を浸漬槽の減水量から測定し, 数少ない測定値をもとにした推算式により林分蒸散量を試算した。

試算された林分蒸散量の値はあまり重要な意味をもたないかも知れない。また, ここで求めた単木の蒸散量の値は, 土壌水分が十分にある時のそれに擬せられるにすぎないかも知れない。しかし, 単木の蒸散量については, 従来行なわれてきた方法よりも確実なものだと考える。

筆者らが行った推算の手法における問題点を列挙してしめくくりとしたい。

①蒸散作用にかかわる気象要素には限界値があると思われる。それが推算式に入るべきである。しかし, その限界値は不明である。さらに下限値ばかりでなく風速のように上の限界もあるのでさらに複雑となる。これらをまとめて表現するのは困難であろう。

②葉面積を  $D^2H$  だけで表現したが, 立木密度や胸高部断面積合計など木の混み具合も当然葉量さらには葉量あたりの蒸散量にかかわっているはずである。これをどのように表現するのか, あるいは実態はどうかの問題は, それだけで1つの大きな研究課題となろう。

③気象要素ばかりでなく生理的季節をどのように数量化するかは, 蒸散量とくに落葉性樹種のそれを取り扱う場合大きな問題であろう。

最後になったが, 本研究を遂行するにあたり文部省科学研究費補助金(代表者 岸本潤, 一般研究(A)60400008)及び鳥取大学農学部広葉樹生態情報総合解析設備ならびに広葉樹開発実験室の援助を受けたことを記し, 貴重な資料をお貸しいただいた鳥取大学林学科小笠原教授に謝意を表したい。また, 危険な作業と根気のいる作業を心よく手伝ってくれた当時の砂防工学研究室専攻の学生諸君に謝辞を送りたい。