

## 寡雨年夏期における蒸発散量の特徴

—三重大学演習林における1987年と1988～1990年との比較検討—

江上 泰<sup>\*</sup>・林 拙郎・川邊 洋・本多 潔・島地岩根

Characteristics of estimated evapotranspiration in the summer of a scanty-rain year. Comparison between the evapotranspiration in the summer during 1988–1990 and 1987 of Mie University Forest

Yasushi EGAMI, Setsuo HAYASHI, Hiroshi KAWABE,  
Kiyoshi HONDA and Iwane SHIMAJI

### ABSTRACT

The annual and monthly evapotranspiration in Nuta-notani catchment of Mie University Forest, was estimated by using the method of short-time period water-budget and the summer evapotranspiration in scanty-rain year was compared with that of other years. The summer evapotranspiration during 1988–1990 was about 4mm/d, and these values were 2–3mm/d in scanty-rain year 1987. A remarkable decrease of the summer evapotranspiration was observed in 1987. The potential evapotranspiration for the same period was calculated by PENMAN Eq., HAMON Eq. and THORNTHWATE Eq. respectively. Variations of these values for each method were contrary to the results of evapotranspiration estimated by the method of short-time period water-budget. The results suggest that additional factors are necessary to estimate the evapotranspiration. Since the evaporation of interception decreased and the soil moisture in this catchment became as dry as winter, decrease of evapotranspiration might be appeared in summer of 1987.

---

\* 現所属：三重県農林水産部

## 和文摘要

三重大学演習林「ぬたの谷」流域において、短期水収支法による流域蒸発散量を算出し、寡雨年夏期と他の年との比較検討を行った。1988～1990年夏期の流域蒸発散量が約4 mm/dであるのに対し、1987年の流域蒸発散量は2～3 mm/dとなり、寡雨年である1987年夏期の減少が顕著であった。一方、夏期の可能蒸発散量をソーンスウェイト、ハモン、ペンマンの各式で求めた結果、短期水収支法とは逆の傾向を示した。これより、実蒸発散量の算定には、可能蒸発散量式の計算因子以外の因子が必要であることが示唆された。1987年夏期は、寡雨による遮断蒸発量の減少もあったが、渇水により流域内の土壌が冬季並みの乾燥状態になり、蒸発散量の減少も加わったものと推測される。

## I. はじめに

森林でおおわれた山地流域の蒸発散量の算定は、水循環を考えるうえで無視できない事項である。蒸発散量を算出する方法は数多く提案されているが、短期水収支法は流域の面的な蒸発散量が求められ、同時に季節変化を示すことが可能な方法である。この短期水収支法は、高瀬・丸山(1978)、SUZUKI(1980)、鈴木(1985)をはじめとして、微気象学的方法による観測値との比較検討(清水ら, 1992)にも用いられている。

こうした地域蒸発散量に対して、蒸発散量の多い夏期の寡雨・渇水の影響がどのように現れるのかについては、これまで検討された事例はあまりみられない。本報告では、紀伊半島東部に位置する三重大学演習林(三重県美杉村)の水文試験流域における流域蒸発散量を短期水収支法より求め、寡雨・渇水年夏期について他の年との比較検討を行う。寡雨年である1987年は、1948年からの演習林気象観測の開始以来、年降水量の最小を記録した年である。この年の夏期の流域蒸発散量はかなり少なく、1988～1990年の春あるいは秋並みの量であった。同時に、1987年夏期の最小日流量も1988～1990年冬期の流量と同程度であったことが示される。

## II. 試験流域および蒸発散量の推定法

### 1. 試験流域の概要

対象とする試験流域は、三重県中西部、雲出川の最上流部に位置する三重大学演習林内の面積0.306 km<sup>2</sup>の「ぬたの谷」である。標高は470mから990mまでの範囲にあり、北北東に向けた細長い斜面である(図-1)。地質は全域にわたり花崗閃緑岩類で占められ、土壌は褐色森林土(B<sub>A</sub>型)となっている(荒木ら, 1966)。1961～1990年の年平均気温と年平均降水量は、12.4℃と2485.5mmである(島地ら, 1992)。試験流域内の植生は、上流部が常緑・落葉広葉樹を中心にモミ・ツガの混交した天然生林、下流部がスギ・ヒノキの人工林(ほとんどが30～40年生)である。天然生林と人工林の面積比はおよそ4:6である。

流域内には転倒ます形雨量計（ます容量 0.5mm）が標高625mと760mの2か所に設けられ、それぞれ1988年5月と1989年3月に観測が開始されている。また、流域出口の量水堰堤は、下部が三角形、上部が四角形の複合型の鋼製ノッチである。量水観測は、堰の越流水位を月巻きの自記水位計（測定範囲0～2m、分解能1mm）で記録し、10分単位で読みとって流量を算出することによって行っている。量水観測の開始は1987年4月である（本多ら、1988、細江ら、1992）。

## 2. 短期水収支法

流域内のある2時点間の蒸発散量  $E$  は、次の水収支式により求められる。

$$E = R - Q \pm \Delta S$$

ここに、 $R$ ：期間内の総降水量、 $Q$ ：期間内の総流出量、 $\Delta S$ ：2時点の流域内の水貯留量の変動量である。短期水収支法では次の仮定を設ける（高瀬・丸山、1987）。ある流域について時刻  $t$  の流出量  $q(t)$  と流域内の水貯留量  $S(t)$  の間に、

$$S(t) = f [q(t), dq/dt]$$

の関係が成立するとき、 $q(t)$ 、 $dq/dt$  の等しい

2時点の流域内の水貯留量は等しい。この仮定より、 $\Delta S$  を 0 として上記の水収支式を適用することによって蒸発散量が求められる。こうして、雨量と流量の2種類のデータより、条件に合う数週間程度の期間内の流域蒸発散量の算定が可能となる。

水収支期間の選定には、高瀬・丸山（1987）やSUZUKI（1980）による、各基底流出段階における一定の基準流域になったときを水収支の起点、終点とする方法、あるいは鈴木（1985）による先行する2日間と当日の無降雨の日を水収支の起点、終点の候補とし、この候補のうちで日流出量の差が日流出量の2%以内のものを選びだすという2つの方法がある。ここでは、前者よりもサンプルの多くとれる後者の方法を用いた。使用したデータは、比較的欠測の少ない1987年4月1日から1990年9月20日までの日雨量と日流量である。日雨量は、主に標高625mにある雨量計のデータを用い、欠測時と冬期積雪時には250m離れた試験流域外にある演習林宿舎（標高527m）の観測データを補足して使用した。得られたデータの中には、'89年から'90年にかけての積雪時のものが1件含まれているが、通常この流域では積雪深は浅く、翌日にはほとんど消えるため、ここではすぐ融けるものとして計算した。



図-1 試験流域平面図（めたの谷）

### 3. 可能蒸発散量の推定法

短期水収支法による流域蒸発散量と比較するため、1987～1990年の各月の可能蒸発散量をソーンスウェイト式、ハモン式、ペンマン式の3式（中野，1976）より求める。計算に際して、月平均気温と月平均湿度は三重大学演習林気象露場のデータを用い、月平均風速と月日照時間は、東に15km離れた飯南町の粥見地域気象観測所のデータを用いた。地上2mの風速は、粥見地域気象観測所の風向風速計が地上6.5mの高さにあるため、対数法則より植被面高0.1m、粗度長0.7m、地面修正量7.8mの草地を想定して（塚本，1992）算出した。

この他、飽和水蒸気圧の算出には、ゴッフ・グラッチ式（気象ハンドブック編集委員会，1979）を用い、同時に飽和絶対湿度（飽和水蒸気密度）も求めた。湿球温度は月平均気温（乾球温度）と月平均湿度よりゴッフ・グラッチ式および乾湿計公式（スプルング式）を用いて算出した。可能日照時間は、北緯34°の地平線を想定して算出した（図-6参照）。

## III. 結果および考察

### 1. 流域蒸発散量の季節変化

短期水収支法により得られる流域蒸発散量は、図-2に示すように、冬期（12～2月）の日平均蒸発散量では1mm/d前後であり、夏期（6～9月）では2～3mm/dと4mm/d前後の2つのグループに分かれる。夏期のデータのうち、日平均蒸発散量は'87年では2～3mm/dのみに分布している。しかし、'88～'90年では一部2～3mm/dのデータもあるが、4mm/dのデータも数多くあり、'88～'90年を全体としてみると8月に4mm/dを頂点とした凸形の分布をしている。

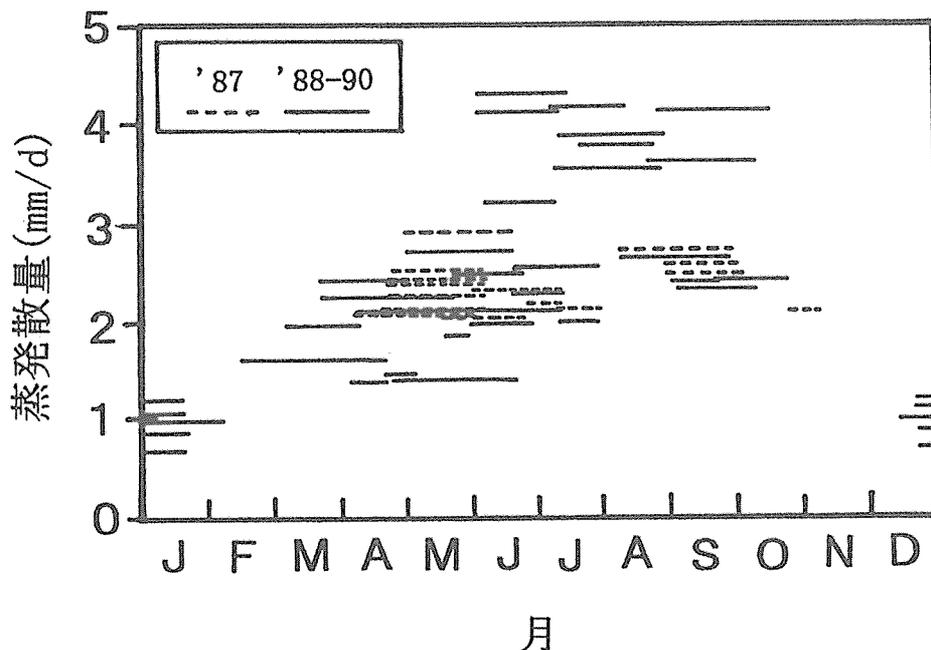


図-2 短期水収支法による流域蒸発散量の算出結果

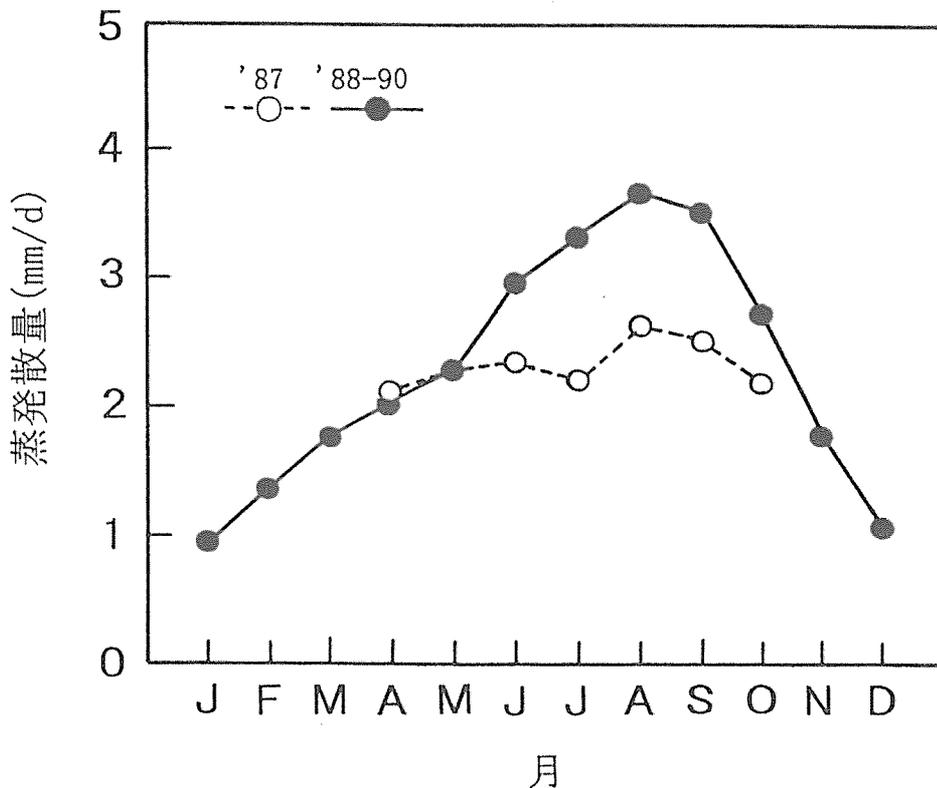


図-3 流域蒸発散量の季節変化 (ぬたの谷流域)

さらに、月ごとの変化を調べるために、図-3のように、'87年の値と'88~'90年の各月平均値を求める。同図では、'87年の流域蒸発散量の最小値は冬期の値が得られていないため不明であるが、最大値は8月の2.65mm/dである。'88~'90年の場合、最小値は1月の0.95mm/d、最大値は8月の3.69mm/dとなっている。'87年の6~9月の値は2.37~2.65mm/dであり、'88~'90年の同時期の値2.99~3.71mm/dよりも約1mm/d程度少なく、'88~'90年の4、5、10月並みの蒸発散量にとどまっている。

## 2. 1987年夏の気象の特徴

流域蒸発散量の多い'88~'90年の年降水量が平均(2485.5mm)並みかそれ以上であったのに対し、夏期の流域蒸発散量の少ない'87年の年降水量は、観測開始以来の最小値(1601.8mm)を記録した。1987年夏期の気象がどのような特徴であったのか、まず三重大学演習林の降水量、気温、日照時間について検討する。必要な降水量と気温は演習林宿舎の気象観測データ(島地ら、1992)であるが、日照時間は、当演習林で観測されていないため、前述の粥見地域気象観測所の観測データ(津地方気象台、1987~1991)を用いる。降水量の場合、図-4のように、'87年6、7月は'88~'90年の50%以下であり、8、9月はさらに少なく、30%以下となっている。図-5の'87年7、8月の気温については、月平均気温と月平均最高気温とも'88~'90年よりも0.5~1.0℃高くなっている。図-6に示す'87年6~8月の日照時間は、'88~'90年の130%以上の大きい値となっている。

このように、'87年夏期が高温、日照過多であったけれども、寡雨という状況を考えると、'87年夏期の流域蒸発散量の小さい理由の一つとして、雨量の減少に伴い遮断蒸発量が減少したことがあげられる。

次に、1987年の気象状況が三重大学演習林周辺だけの局地的なものかどうか、'87年6～8月の全国の気象状況を平年と比較する（栗原，1987）。降水量の場合、図-7に示すように関東地方から近畿地方にかけて、6～8月平均で平年比の70%以下であった。平均気温は、中部地方における6～8月の平年差で1℃以上高くなっている。日照時間は、図-8に示すように6～8月にかけて関東地方から近畿地方の太平洋側では平年より多くなっている。

以上のことから、三重大学演習林でも1987年夏期は、関東地方から近畿地方にかけての太平洋側と同じような寡雨、高温、日照過多という気象状況であったことがわかる。

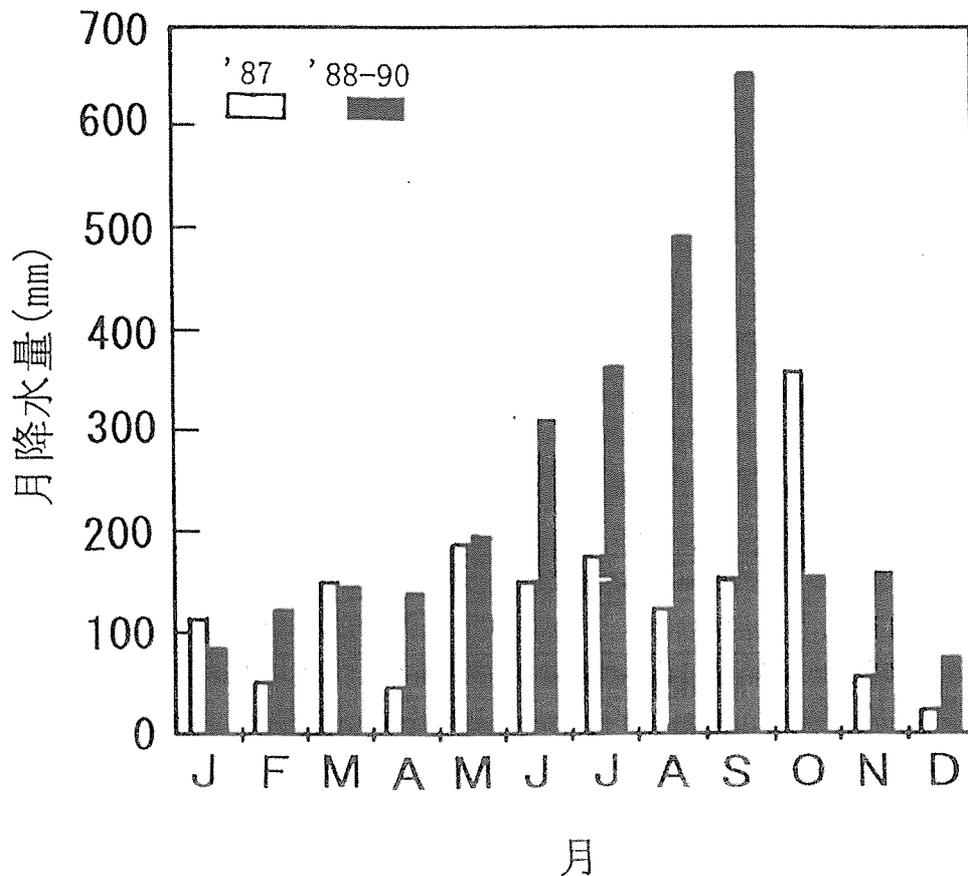


図-4 三重大学演習林の月降水量

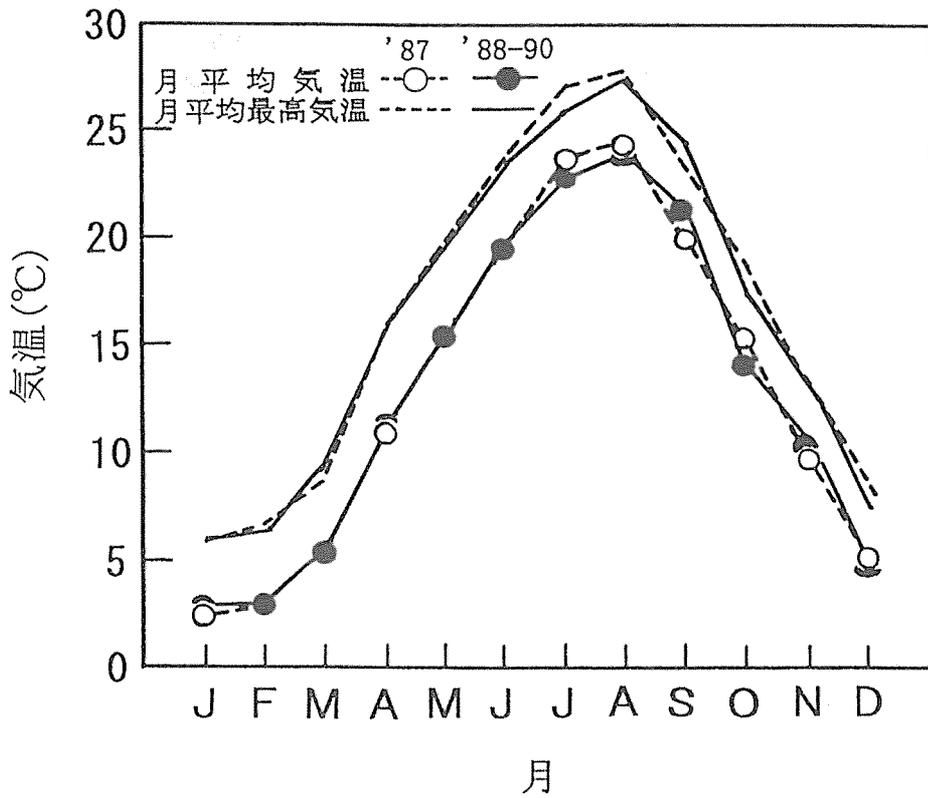


図-5 三重大学演習林の月平均気温と月平均最高気温

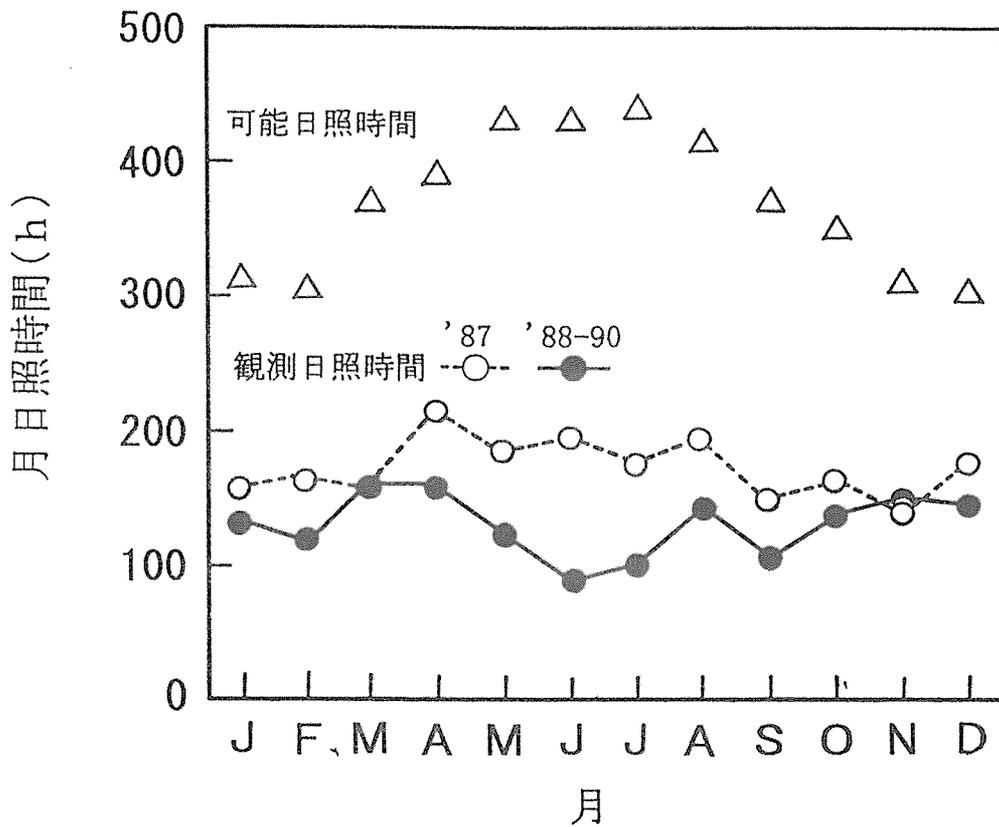


図-6 粥見地域気象観測所の日照時間

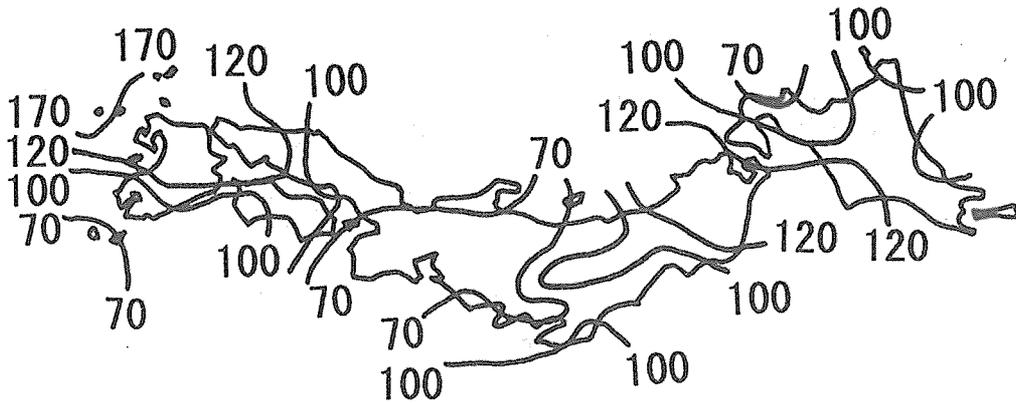


図-7 1987年6月～8月の降水量平年比(%) (栗原, 1987)

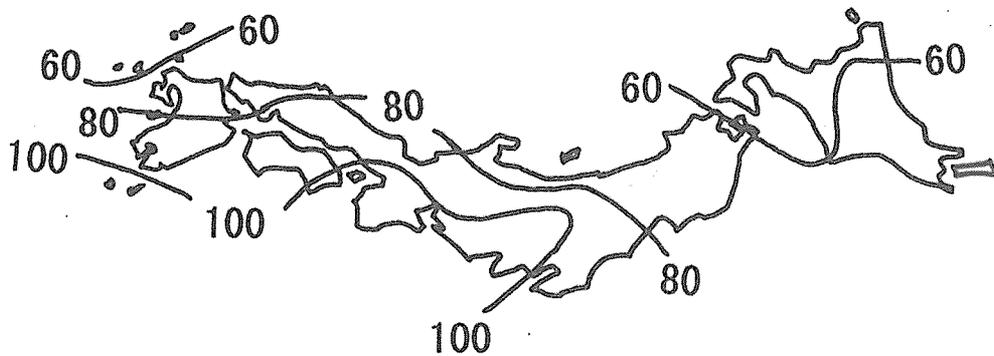


図-8 1987年8月の日照時間平年比(%) (栗原, 1987)

### 3. 流域蒸発散量と可能蒸発散量との比較

前章で述べた方法による'87年各種可能蒸発散量と'88～'90年の可能蒸発散量の平均値を示したものが図-9である。'87年4～10月の可能蒸発散量と流域蒸発散量とを比較すると、10月を除き各月とも可能蒸発散量の方が大きくなっている。

可能蒸発散量を与えるソーンズウェイト式とハモン式の場合、'87年7、8月の値は'88～'90年より0.1～0.2mm/d大きい値を示している。ペンマン式の場合、'87年4～10月の値は'88～'90年よりも大きくなり、6、7月には0.8mm/d以上の差が認められる。ペンマン式で'87年と'88～'90年の差が大きい理由は日照時間の差が効いているためである。'87年夏期の各式による可能蒸発散量は、流域蒸発散量の場合とは逆に、'88～'90年より多くなっている。

このように、'87年夏期の可能蒸発散量が'88～'90年夏期より上回っているのは、大槻(1989)が指摘しているように、可能蒸発散量の推定式は植被地において十分に水が供給されるという前提条件があるためである。流域内に水分が十分にあったならば、'87年夏期の蒸発散量は'88～'90年よりも多くなるはずである。したがって、'87年の流域蒸発散量の減少には、可能蒸発散量推定式の水文因子—ソーンズウェイト式では気温と可能日照時間、ハモン式では気温と飽和絶対温度、ペンマン式では気温、湿度、風速、日照時間—以外の水文因子、が関係したものと考えられる。この因子として、先に述べた遮断蒸発量の減少も挙げられるが、その他に流域内の土壌水分量の減少(乾燥化)が考えられる。

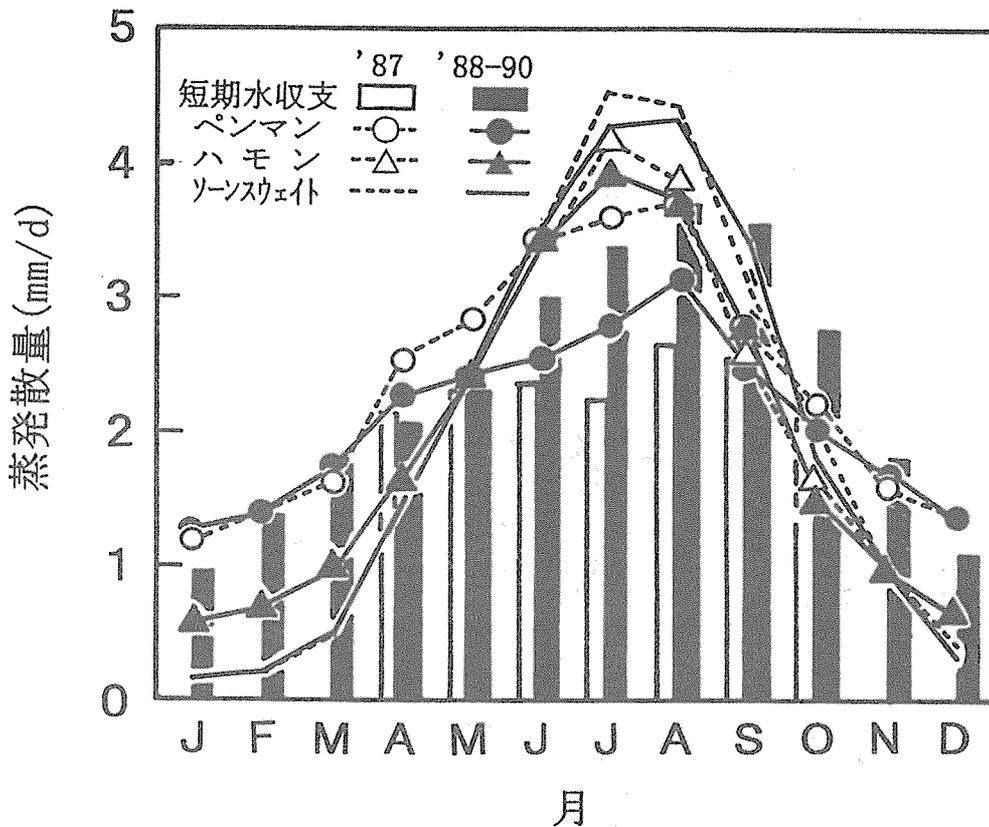


図-9 流域蒸発散量と可能蒸発散量との比較

以下では、土壌水分の減少程度を明らかにするために、'87年夏期の流域蒸発散量の低下を基底部の流量と対応させて調べる。

#### 4. 夏期の流域蒸発散量と流量との関係

まず、試験流域の観測流量のデータを概観する。雨の比較的多い'88~'90年の夏期では、基底部の流量は1.5mm/d以上であった。これに対し、'87年では4月から8月までの寡雨の影響のために6~8月では1.5mm/d以下になることが多く、さらに9月では1mm/d以下にまで低下している。この値は、'88~'90年冬期の流量に相当している。

以上のことをさらに詳しく検討するために、短期水収支法より得られた夏期(6~9月)と冬期(12~3月)の流域蒸発散量とその水収支期間内の最小日流量との関係を図-10に示す。この図から、夏期の流域蒸発散量の範囲は1.40~4.32mm/d、最小日流量の範囲は0.88~3.19mm/dであり、水収支期間内の最小日流量が低くなると流域蒸発散量も低くなるという傾向がわかる。図中左下2~3mm/dの部分は、一部'90年夏期のデータも含まれているが、'87年夏期のデータにはこれより大きな値はみられない。'87年夏期の流域蒸発散量は、'88~'90年冬期よりも1~2mm/d多くなっているが、'87年夏期の最小日流量は、'88~'90年冬期と同程度である。このことより、'87年夏期の蒸発散量が冬期程まで低下しないにしても、'88~'90年夏期よりも低くなった原因の一つとして、流域内の土壌が'88~'90年冬期並みの乾燥状態になったということが推測される。

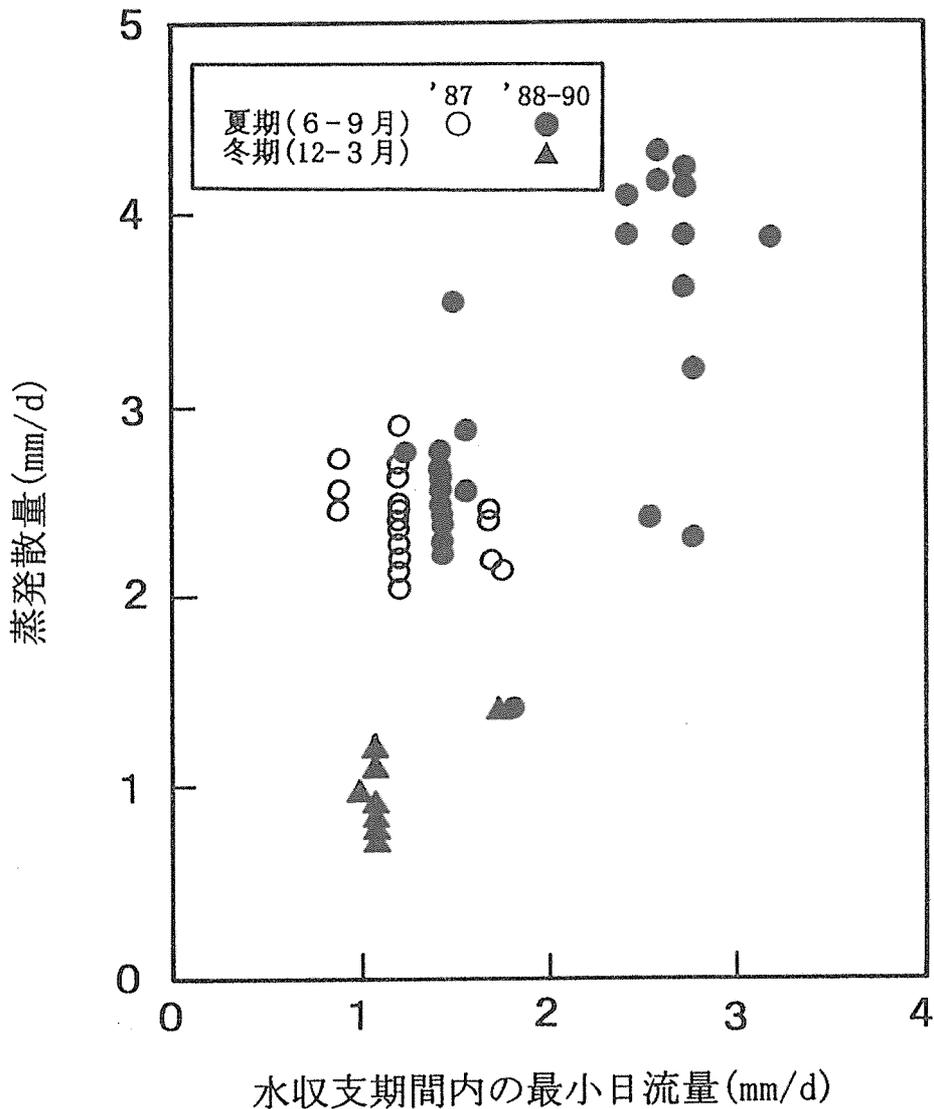


図-10 流域蒸発散量と水収支期間内最小日流量との関係

#### IV. ま と め

短期水収支法により、三重大学演習林「ぬたの谷」流域の流域蒸発散量を求めた。その結果、'87年と'88～'90年の流域蒸発散量は、寡雨年であった'87年夏季の蒸発散量がかなり少なく、雨の多かった'88～'90年の春あるいは秋並みの量にとどまることが明らかになった。この原因の一つとして、雨量の減少によって遮断蒸発量の減少が生じたことがあげられる。

一方、ソーンズウェイト式やハモン式、ペンマン式の3式より可能蒸発散量を求めた結果、夏季の値はいずれも、'87年の方が'88～'90年の値より大きな値となった。これより、実蒸発散量を求めるには、可能蒸発散量推定式に別の因子を組み入れる必要性が示唆された。流域蒸発散量と基底部流量との関係から、'87年の夏季は最小日流量も少なく、湧水により流量内の土壌が冬期並みの乾燥状態になったことが推察された。流量内土壌の乾燥化は、蒸発散量を減少させるので、このことも寡雨年夏季の蒸発散

量の減少に関与する一つの因子であると考えられる。当試験流域では土壌水分の観測を最近開始したが、蒸発散と土壌水分との関係は今後の検討課題としたい。

## 引用文献

- 1) 荒木慶雄・浮本 勇・北村治郎：平倉演習林の地形・地質及び土壌について，三重大演報 6，1～9，1966
- 2) 江上 泰・林 拙郎・川邊 洋・本多 潔・島地岩根：寡雨年夏期（'87年）における蒸発散量の減少傾向，日林誌77，370～372，1995
- 3) 本多 潔・林 拙郎・駒村富士弥・岡田直樹：三重大学演習林における量水堰堤の建設，三重大演報16，97～103，1988
- 4) 細江一之・本多 潔・川邊 洋・林 拙郎：三重大学付属演習林における量水観測と流出特性，三重大演報17，173～186，1992
- 5) 気象ハンドブック編集委員会：気象ハンドブック，東京，朝倉書店，217～218，1979
- 6) 栗原弘一：1987年日本の天候—夏の天候経過，気象31(11)，7～10，1987
- 7) 中野秀章：森林水文学，東京，共立出版，228pp,1976
- 8) 大槻恭一：蒸発散（その8）蒸発散量の推定法，農士誌57，1065～1071，1989
- 9) 島地岩根・岡野 久・松本 清・日置 隆・日置忠司・谷郷政士・宮本成夫・田川美和子・日置千鶴代：三重大学生物資源学部付属平倉演習林気象報告 —自1961年～至1990年，三重大演報17，233～245，1992
- 10) 清水 晃・竹下 幸・水谷完治：山地小流域の流出機構 —鹿北流域試験地の概況と観測結果，103回日林論，603～604，1992
- 11) SUZUKI, M.:Evapotranspiration from a small catchment in hilly mountains (I) Seasonal variations in evapotranspiration, rainfall, interception and transpiration, J. Jap. For. Soc. 62, 46～53,1980
- 12) 鈴木雅一：短期水収支法による森林流域からの蒸発散量推定，日林誌67，115～125，1985
- 13) 高瀬恵次・丸山利輔：水収支法による季別流域蒸発散量の推定，農士論集76，1～6，1978
- 14) 津地方气象台：三重県気象月報—昭和62年1月～平成2年12月。日本気象協会津支部，1987～1991
- 15) 塚本良則編：森林水文学，東京，文永堂出版，63～64，1992