

# 森林流域における年消失量と年降水量・標高の關係

山村 烈也・中野 秀章

信州大学農学部 治山工学研究室

## 1 はじめに

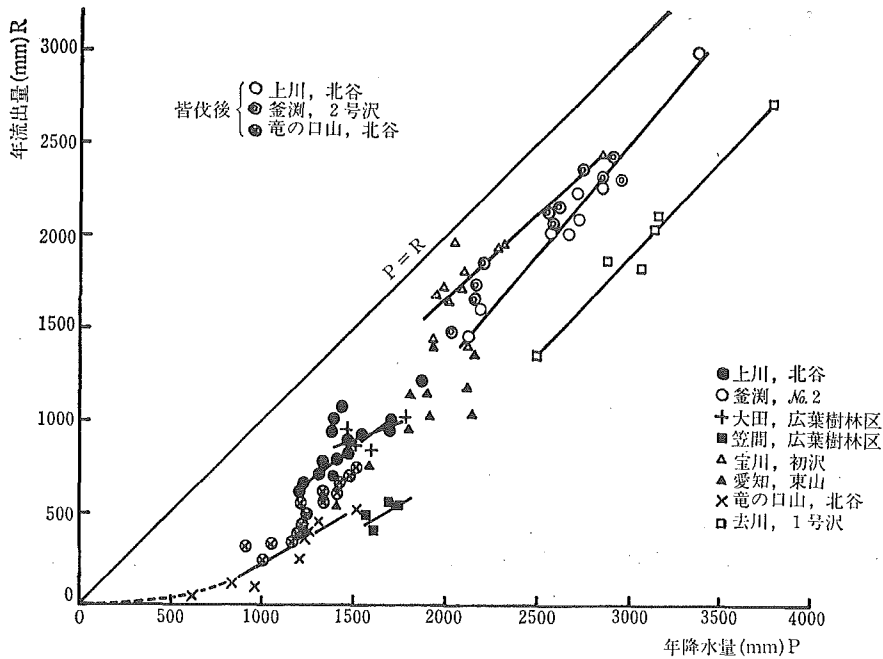
流域における森林と水流出との關係については今日、着目すべき二つの視点がある。一つは、いわゆる森林の流出平準化作用のいかんであり、他の一つは森林の水消失作用のいかんである。

森林流域に降った降水がその甚だしい時間的変動にもかかわらず多少なりともこれより少ない変動で、いかえれば平準化ないしは平均化されて流出するときは治水・利水にとって望ましいこととなるが、森林のあり方、いかえればその個別水文現象である諸機能の総合によって、このことにかにかかわりをもつかの視点が前者である。つぎに、森林は必ず土壌水分を吸収・蒸散し、また構成植物はその体表面に降水を附着・遮断して降水を消費するが降水の少ない時期あるいは地域によってはその量の少ないことが利水上望ましいこととなる。そして森林のあり方がこのことにかにかかわりをもつかの視点が後者である。さて、森林流域における消失水量は詳細には森林のあり方によって異なると考えられるがそれ以前に基本的に降水量の多寡によって消失水量が変化し、また水源流域の標高によっても支配されることがすでに指摘されている。このことは森林と水保全の問題を前記の後者の立場で考えるとき重要なことである。ここでは、このことについての一つの資料を報告する。

## 2 年消失量と年降水量の關係

既往の森林流域試験における年水収支測定結果から年降水量と年流出量の關係が報告されており、両者の差すなわち年消失量と年降水量の關係をうかがうことができる。

図一1は古くより実施されてきたわが国における代表的な森林流域試験の結果から年降水量 ( $P$ ) と年流出量 ( $R$ ) の關係を示す<sup>1)</sup>もので図の中で  $P=R$  の直線は仮に降水が100%流出したとした際の両者の關係を示し、各点は、 $P-R=L$  (年消失量) を示しており、それらはすべて  $P=R$  直線の下方領域に分布する。森林流域に限らず流域では降水の一部は必ず何らかの蒸発損失をうけるから、このことはいかなる流域でも同じである。この図で顕著なことは年降水量のある限界、この図で、1,500と2,000mmの間のいずれかの年降水量以上の年降水量に対する年消失量は年降水量対年流出量の回帰直線が  $P=R$  直線にはほぼ平行であることからほぼ一定とみられることである。もちろんここで示された程度の年数間での森林の生長その他による変化の範囲でのことである。図中に示すように皆伐で森林が大きく変化



図一 森林流域における年降水量と年流出量の関係

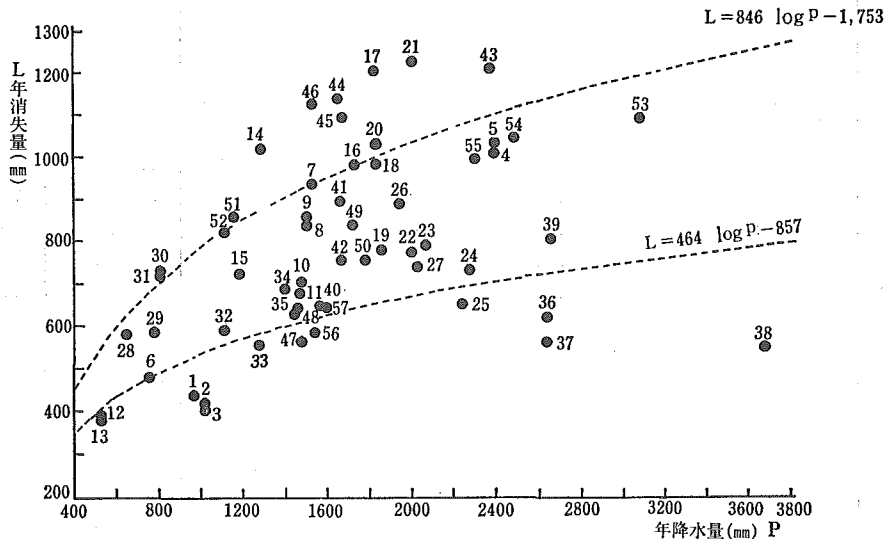
すれば事情は多少異なってくる。そして、この限界年降水量以下の年降水量に対しては年消失量は降水量とともに少なくなる。

つぎにこの図で上述の限界年降水量以上の同じ年降水量の範囲でも  $L$  の大きさは、当然のことながら、流域によって異なりしかもその差が流域の所在地（緯度）と標高によって支配

表一 世界における森林理水試験流域の高度，降水量，消失量

番号	国 (県または州)	試験地流域	北緯 緯度 (°)	平均 高度 (m)	平均年 降水量 (mm)	平均年 消失量 (mm)
1	アメリカ	Central New York, Sage Brook	44	525	974	439
2	(ニューヨー	Central New York, Cold Spring Brook	44	565	1030	414
3	ク)	Central New York, Shackham Brook	44	520	1030	403
4	(オレゴン)	H. J Andrews No.1	44	700	2388	1016
5		H. J Andrews No.3	44	760	2388	1042
6	(コロラド)	Fraser Fool Creek	40	3200	762	479
7	(ウエストバ	Fernow No.1	39	755	1524	940
8	ージニア)	Fernow No.2	39	780	1500	840
9		Fernow No.3	39	805	1500	865
10		Fernow No.5	39	780	1473	711
11		Fernow No.7	39	800	1469	681
12	(コロラド)	Wagon Wheel Gap A	38	3030	536	383

13		Wagon Wheel Gap B	38	3110	533	376
14	(テネシー)	Pine Tree Branch	36	160	1280	1025
15	(テネシー)	White Hollow	36	410	1184	724
16	(ノースカロ	Coweeta No. 1	35	840	1725	986
17	ライナ)	Coweeta No. 3	35	825	1814	1207
18		Coweeta No. 6	35	790	1821	990
19		Coweeta No. 10	35	975	1854	782
20		Coweeta No. 13	35	810	1829	1037
21		Coweeta No. 17	35	885	1995	1233
22		Coweeta No. 19	35	960	2001	779
23		Coweeta No. 22	35	1035	2068	793
24		Coweeta No. 28	35	1200	2270	738
25		Coweeta No. 37	35	1280	2244	661
26		Coweeta No. 40	35	1035	1946	894
27		Coweeta No. 41	35	1065	2029	744
28	(カリフォル	San Dimas, Monroe Canyon	34	840	648	584
29	ニア)	Santa Anita, Fish Canyon	33	760	780	589
30	(アリゾナ)	Sierra Ancha, North Fork	33	2225	813	727
31		Sierra Ancha, South Fork	33	2165	813	726
32	日本	上川 一の沢	44	520	1116	593
33	(北海道)	上川 二の沢	44	640	1271	560
34		上川 南谷	44	600	1388	689
35		上川 北谷	44	600	1453	645
36	(山形)	釜淵 1号沢	39	200	2641	625
37		釜淵 2号沢	39	200	2641	566
38	(群馬)	宝川 本流	37	1390	3673	556
39		宝川 初沢	37	1070	2653	870
40	(茨城)	太田 広葉樹林区	37	355	1567	651
41		太田 針葉樹林区	37	340	1654	902
42		太田 幼齡林区	37	250	1666	761
43	(栃木)	足尾 広葉樹林区	37	1080	2363	1215
44	(茨城)	笠間 広葉樹林区	36	210	1646	1142
45		笠間 針葉樹林区	36	225	1674	1100
46		笠間 無立木地区	36	225	1526	1132
47	(愛知)	穴の宮	35	178	1478	565
48		教成	35	166	1468	639
49		白坂	35	461	1724	838
50		東山	35	482	1782	760
51	(岡山)	竜の口山 南谷	35	160	1153	860
52		竜の口山 北谷	35	150	1113	823
53	(宮崎)	去川 1号沢	32	320	3073	1095
54	台湾	蓮華池 第3号	24	770	2481	1050
55		蓮華池 第4号	24	750	2100	1000
56	スイス	Emmental Rappen Graben	47	980	1536	584
57		Emmental Sperbel Graben	47	890	1589	647



図一 年降水量と年消失量の関係 (北半球各地の森林流域試験資料による)

されるらしいことがうかがわれる。また限界年降水量以下の年降水量の範囲では当然のことながら年降水量と年消失量 (年流出量) の関係式が異なる。つぎに北半球のアメリカ合衆国、日本、スイス、台湾<sup>2),4)</sup> における森林流域試験結果から流域面積はじめ流域諸条件の差を無視し、かつそれぞれ個有の森林 (樹種、林齢等について) が成立している状態での数年ないし10年間程度の年降水量と年消失量の平均値で両者の関係をみると表一、図一2のとおりである。図一2で各点のばらつきは大きい、巨視的には前述のことと同様にして、年降水量の小さい範囲ではそれとともに年消失量は増加するが1,800mm前後を境として、以降年消失量の大きくなる程度は少なく、一定に近づくような傾向がみられる。

さらに少し巨視的にみると全点を二つのグループに分けてみるができるようである。すなわち一つのグループはすべての年降水量の範囲にわたって相対的に消失量の大きいグループであり、他は同じく相対的に年消失量の小さいグループである。両グループの年降水量対年消失量の全体的関係を示せばたとえつぎのような曲線で表わせる。

$$L = 846 \log P - 1,753 \tag{1}$$

$$(r : 0.792)$$

$$L = 464 \log P - 857 \tag{2}$$

$$(r : 0.671)$$

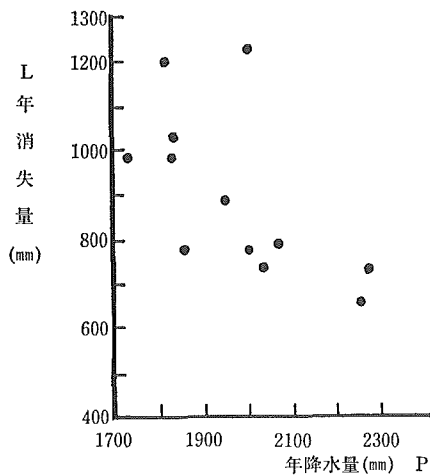
ただし、 $L$  : 年消失量、 $P$  : 年降水量である。両曲線は図中に破線で示されている。そして(1)式のグループに属する各流域は北緯38°以南で平均標高が約1,000m以下の低い山地流域と北緯33°以南では1,000m以上の平均標高の高地流域も含む標高にかかわらずすべての流域であり、(2)式に属するグループは北緯39°以北の流域及び北緯35°~38°の間の標高約1,000m以上の高地流域である。しかし前者のグループについては H. J. Andrews の No.1, No.2 の2流域と Fernow の No.1, No.2, No.3 の3流域の例外がある。後者のグルー

プについては愛知県の穴の宮、数成、東山の3流域と太田の幼齢林区、広葉樹林区の2流域の例外がある。これら例外流域は H. J. Andrews のそれを除いて年降水量が1,500~1,900 mmの範囲にある場合である。とにかく、2曲線の変曲点でうかがえるようにここに用いた資料の範囲では年降水量1,800mm前後が年消失量と年降水量の相互関係を考えるときの一つの境界値かも知れないことがうかがえる。このことは図一1で少数の試験流域についてみた場合と同様である。以上述べたことから年消失量及びその年降水量との関係とくに限界年降水量が流域の主として蒸発散条件によって異なることは明らかであり、(1)式のグループの各流域よりさらに南の低緯度地方のそれでは異なること、すなわち年消失量が多く、限界年降水量が大きく2,000mmをこすであろうことがうかがえる<sup>3)</sup>がいまだその資料が少なく実証的説明はできない。なお、ここで年消失量は蒸発散損失量だけではなく、深部透水による損失量も当然含まれているはずであり、この深部透水は流域によって大いに異なることが考えられ、したがってこのことも図一2の各点のばらつきの原因となっていよう。

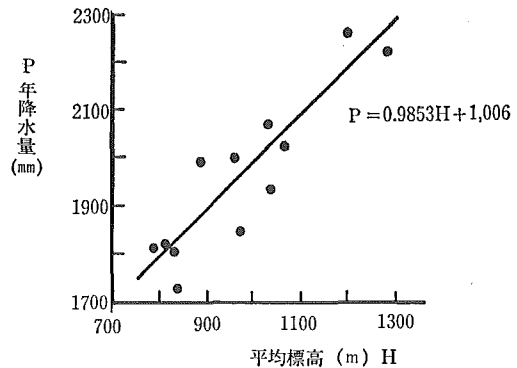
### 3 年消失量と標高の関係

前項の検討から流域の標高が年消失量と関係のあることがうかがえたが、さらに一つの地域で標高との関係をみる。

前項で1地域に複数の試験流域が存在する場合について、それらの間での年降水量と年消失量の関係をみると、当然のことながら限界年降水量以下では年降水量の大きい流域で年消失量も大きい傾向がみられる。例えば竜の口山の北谷、南谷、上川の一の沢、南谷、北谷、愛知県の数成、白坂、穴の宮、東山、またアメリカ合衆国 Fernow 試験地の5流域についてはその年降水量がほとんど限界降水量付近で、かつ相互に大差がないため、年降水量との関係はほとんどみられず年消失量の大きな差は森林その他の地文条件によっているものとみ



図一3 Coweeta 各流域の年降水量と年消失量の関係



図一4 Coweeta 各流域の年降水量と平均標高の関係

られる。しかしさらに多数の流域をもつ Coweeta 試験地の12流域については年降水量が限界年降水量からそれ以上にわたってかなりの差があるため年降水量とともに年消失量が少なくなる全体傾向がみられる。これを図一3に示す。このことは図一4に示すとおり年降水量が標高とともに増加することと符合している。降水量が標高とともに多くなることは、きわめて広域の山地帯について一般に認められていることである。たとえば秋田県下の雄物川支流の山地流域(141.9km<sup>2</sup>)の5地点(高度350~730m)で、ある年観測された結果冬期間(11月15日~3月15日)と融雪期間(3月16日~6月10日)について期間降水量(Pmm)と

$$P=0.900 H+496 \quad (r: 0.965)$$

$$P=0.538 H+24 \quad (r: 0.940)$$

高度(Hm)の間にそれぞれの直線関係が認められたという記載<sup>5)</sup>がある。高度差380m程度の広域においてもこの程度の両者間相関がみとめられる場合もありうるという事例の一つである。また利根川上流の約2,000haの支流域中に多数地点(高度810~1,690m)に設けた観測点で夏期のたとえば8~10月期間の雨量を観測した資料<sup>6)</sup>によって標高との関係をみると峯筋に設けた観測点の測値はばらつきが大きい、谷筋に設けた観測点の測値によって相関係数0.500程度以上で直線関係たとえば

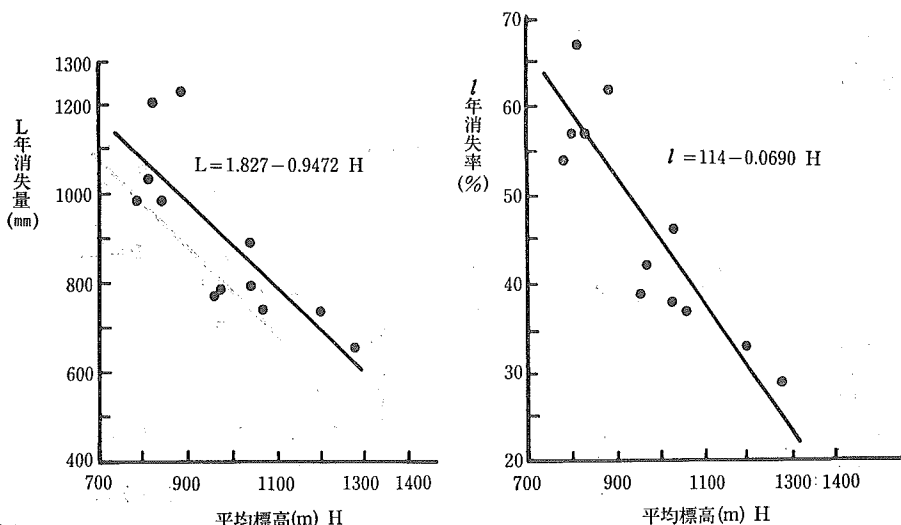
$$P=0.254 H+397 \quad (r: 0.614)$$

がみられ、標高とともに雨量が多くなることがみとめられる。

また、Coweetaの面積18.6km<sup>2</sup>、標高の範囲684~1,596mのこの試験地内でも両者にはかなり明瞭な関係があることが知られる。したがって当然平均標高とともに年消失量・年消失率が小さくなる。この関係は図一5に示した。

Coweeta 試験地資料のこれらの関係は直線回帰関係で表わされるものと考えると以下のような回帰式が得られる。

$$L=2,236-0.6776 P \quad (r: -0.616)$$



図一5 Coweeta 各流域の平均標高と年消失量・年消失率の関係

$$l = 156 - 0.0560 P \quad (r: -0.786)$$

$$L = 1,827 - 0.9472 H \quad (r: -0.790)$$

$$l = 114 - 0.0690 H \quad (r: -0.882)$$

$$P = 0.9853 H + 1,006 \quad (r: 0.903)$$

ここで、 $L$  (mm)：年消失量、 $l$  (%)：年消失率、 $P$ ：年降水量 (mm)、 $H$ ：流域の平均標高 (m) である。

#### 4 お わ り に

北半球の各地にある森林流域試験 (すなわちアメリカ合衆国31 (11地域)、日本22 (9地域)、スイス2 (1地域)、台湾2 (1地域) 計57試験流域) の既発表資料により年消失量と年降水量および流域の平均標高との関係をみた。これらの流域はその面積 (釜淵2号沢, 2.48ha から Santa Anita: Fish Canyon 1,684ha まで)、森林状態 (樹種、立木密度等々) はもちろん気象条件はじめ流域のあらゆる地文条件がきわめて多様である。それにもかかわらず年消失量と年降水量の間にはある程度の規則性がみられた。すなわち年降水量が1,800 mm前後を限界値としてこれより少ない場合は年消失量は年降水量とともに変動して平行的に増減し、これより多い場合は増加せず一定値に近づくかあるいは減少する傾向が考えられること、そして消失量の絶対値は緯度、平均標高によって地域的に差があり、北緯がほぼ35°以北で平均標高約1,000m以上の流域と北緯39°以北の流域では、北緯38°以南で平均標高約1,000m以下の流域と標高にかかわらず北緯33°以南の流域よりかなり少ないことがいえるようであり、ことに広大な地域でなくても標高とともに年降水量が多くなり、その結果上述の限界年降水量以上の水源山地森林流域では年降水量とともに年消失量 (年消失率共) が少なくなることがいえる。これらの事実の数量的側面はなおこんご資料を増加して吟味する必要があるが定性的側面はここで明らかになったものと考えられ、森林と水保全を考える一つの資料となろう。

#### 引 用 文 献

- 1) 中野秀章：森林水文学，共立出版 148-149p. 161-171p. 1977.
- 2) 林 淵霖：国外与台湾之森林集水区經營 中華水土保持学会 119p. 1978.
- 3) 竹内俊雄：流域の年消失高について 水利科学 No.101 24-47p.
- 4) Y. J. Hsia: Water yield resulting from clearcutting a small hardwood basin in central Taiwan.
- 5) 石橋 豊ほか：農業水文 (農業水利演習 I) コロナ社 40-41p. 1980.
- 6) 山田昌一：宝川治水試験地に於ける地形に基づく受光係数，立木分布状態及び降水量と流出量との関係に就て (宝川森林治水試験報告其の一，其の二) 東京営林局 136-175p. 1943.

## Relationships between Annual Water Losses and Annual Precipitation and Altitude in Forested Watershed

Retsuya YAMAMURA and Hidenori NAKANO

Laboratory of Soil Conservation Engineering, Fac. Agric., Shinshu Univ.

### Summary

Forests have two important effects for precipitation-streamflow relationship. One of them is leveling of discharge and another water losses consist of interception, evaporation and transpiration. In the watershed with small precipitation, water losses are important problems. Then we investigated about the relationship between annual water losses and precipitation on 57 watersheds locating in 22 experimental areas in the northern hemisphere. The watersheds are 31 in The United states of America, 22 in Japan, 2 in Switzer land and 2 in Formosa.

Annual precipitation and runoff records for a period of several to 10 years on each forested watershed were used in this investigation.

Generally speaking, annual water losses increases in proportion to annual precipitation, but in detail it may be gathered the tendency that the losses approach to a fixed value or decrease with more than 1,800mm of precipitation. These records are classified into two groups with a few exceptions.

If the watersheds locate in south of latitude 38°N and mean altitude under 1,000 meters or in south of latitude 33°N and mean altitude over 1,000 meters the relationship should be expressed as following equation

$$1) L=846 \log P-1,753$$

In the same way, if the watersheds locate in north of latitude 39°N and 35°N~38°N and mean altitude over 1,000 meters the relationship should be expressed as following equation

$$2) L=464 \log P-857$$

where :  $L$ =annual water losses (mm)

$P$ =annual precipitation (mm)

On the other hand, it has been already known that the precipitation increase in proportion to altitude.

So as an example Coweeta's records indicate that annual water losses or annual water loss rate decrease in proportion to the increase of altitude. The formula is expressed as follows:



$$L = 2,236 - 0.6776 P$$

$$l = 156 - 0.0560 P$$

$$L = 1,827 - 0.9472 H$$

$$l = 114 - 0.0690 H$$

$$P = 0.9853 H + 1,006$$

where :  $L$  (mm) = annual water losses

$l$  (%) = annual water loss rate

$P$  (mm) = annual precipitation

$H$  (m) = mean altitude of watershed