

森林の伐採が積雪地方の山地流域における水文現象に及ぼす影響について

誌名	岩手大学農学部報告 = Journal of the Faculty of Agriculture, Iwate University
ISSN	05792746
著者	石井, 正典
巻/号	18巻3号
掲載ページ	p. 383-391
発行年月	1987年12月

森林の伐採が積雪地方の山地流域における 水文現象に及ぼす影響について

石井正典

(昭和62年5月15日受理)

I 緒 言

積雪への森林の影響は、樹冠の降雪の遮断、林内外の風速の変化、林内外の気温・日射の変化が考えられる。

林内外の積雪の変化については多くの調査があるが、それらを総括すると下記のようになる(5)。森林があると林内積雪は裸地より一般に減少し、融雪期には逆に融雪が比較的永く残雪する。積雪増加期の林内外の積雪深の関係は、埋雪しない樹高になった林冠の密なスギ壮齢林では20~50%林外より積雪深がすくなく、落葉の広葉樹では20%多くなることがある。結局、林内外の積雪深は林冠の密度・樹種等に左右されて一定でないと言われている。

融雪期における林内の積雪減少度はスギ壮齢林では林外の50~70%しか減少せず、落葉広葉樹では約80%であった。

林内は、林外に比べて日射量が少なく、気温は極端な変化はしないで、また、その較差が小さい。したがって、この影響は林内外の積雪の質に影響する。積雪初期の平均密度の小さい間は、林内の方が林外より小さく、融雪期に入って密度が大となると、逆に林外の方が林内より大となる傾向がうかがえる。つまり、林内の方が外気温及び日射に対する影響が緩慢で、密度変化が冬期を通して比較的少ないことを意味する。

以上のように、林内外の積雪・融雪の違いは観測されるが、これらの成果を山地流域の流出に直接結びつけることは現段階では困難である。したがって、水文解析でそれらの傾向を総合的に把握する方法が考えられるが、本研究では、積雪地方の山地流域を対象にした水文現象の解析を行うことにした。

山地流域で森林を伐採すると、流出量が増加することは既に知られているが、この流出量の増加が、降水の遮断量の低下、蒸散量の低下等に起因することは予想できる。これらの水文現象がどの季節に、どの程度の影響を受けるか、についての解析は極めて少ない。さらに、積雪地方の山地流域で森林を伐採すると、上記の水文現象に加えて、融雪洪水が増加することは現象として認められているが、この融雪洪水に関係する融雪係数の時期的変化について解析した結果は見受けられない。

筆者(3)は幼齢林地と壮齢林地とで、水文現象がどの程度異なるかについて既に報告しているが、幼齢林地の水文現象(特に、蒸発散量、土壌水分)は壮齢林地とかなり異なっていることが分かった。

そこで、今回は壮齢林地と伐採跡地とでは水文現象がどの程度異なるかについて報告するが、

文献(3)では非積雪地方の研究結果であったので、本研究では積雪地方の山地流域を対象に解析する。積雪地方の山地流域では蒸発散量、土壌水分の水文現象の変化に加えて積雪地方の特徴である積雪・融雪現象の変化が考えられる。

そこで、今回は積雪地方に適用する水収支計算モデル(2, 4)を用いて、主として、蒸発散量、土壌水分及び融雪係数の変化について検討した。

その結果、森林を伐採すると蒸発散量、土壌水分および融雪係数が大きく変化することが認められたので、その成果について報告する。

II 研究方法

1. 水収支計算モデル

積雪地方の山地流域に適用する水収支計算モデルは石井ら(2, 4)の方法を用いるが、その概要は下記のとおりである。

目単位の水収支は

$$p = r + e_t \pm \Delta G \pm \Delta M \pm \Delta S \quad (1)$$

である。ここで、 p : 流域平均日降水量 (mm/日), r : 日流出量 (mm/日), e_t : 日蒸発散量 (mm/日), なお、冬期で蒸散量が無視できる場合には日蒸発量である。 ΔG : 重力水貯留量の変化量 (mm/日), ΔM : 有効水分の変化量 (mm/日), ΔS : 積雪水量の変化量 (mm/日) である。

さらに、 $v_e = r + \Delta G$ とおき、また、流域全体の土壌水分が飽和しない時点での河道降水量及び不飽和流出量を考慮して、(1)式を(2)式のように変形する。

$$v_e = \alpha_r p + (1 - \alpha_r) p - e_t \mp \Delta M \mp \Delta S \quad (2)$$

ここで、 v_e : 対応流出量 (mm/日) と呼ぶ、 α_r : 一次流出率で、これは河道降水率と不飽和流出率の和である。なお、ここで云う飽和とは圃場容水量のことである。

本研究では降水のうちで降雨についての補正は無視し、降雪についてのみ補正することにしたが、降水が降雨になるか、降雪になるかは日平均気温が0度以上で降雨、それが0度未満で降雪になるものとした。

以上の仮定から、流域の代表地点の日降水量(以下、基地降水量と呼ぶ) p_B と流域日降水量(以下、日降水量と呼ぶ)との関係は

$$p = p_B, \quad (t_m \geq 0) \quad (3)$$

$$p = p_B(1 \pm \alpha_p), \quad (t_m < 0) \quad (4)$$

である。ここで、 α_p : 降水量の補正係数, t_m : 日平均気温 ($^{\circ}\text{C}$) である。

2. 蒸発散モデル

無積雪期の蒸発散モデルは下記のとおりである。

$$e_t = a \cdot e_p, \quad (M \geq M_c) \quad (5)$$

$$e_t = a \cdot e_p \cdot M/M_c, \quad (M < M_c) \quad (6)$$

ここで、 a : 月別蒸発散比 ($a_1 \sim a_{12}$), e_p : 蒸発散能 (mm/日), M : 任意日有効水分量 (mm), M_c : 任意日臨界水分量 (mm) である。

なお、蒸発散量が(5)式になるか、(6)式になるかは、任意日の有効水分量と臨界水分量の関係によるがこの場合の M_c は

$$M_c = \beta_o \cdot a \cdot e_p \cdot M_r, \quad (M_c \leq M_r) \quad (7)$$

である。ここで、 β_0 ：臨界点定数、 M_f ：圃場容水時有効水分量 (mm) である。

一方、冬期の蒸発(散)モデルは積雪水量が存在しない条件下では夏期の蒸発散モデルと同様であるが、それが存在する時には積雪水量から差し引くことにした。

3. 融雪モデル

融雪モデルは下記のとおりである。

$$r_s = c \cdot t_0 \quad (8)$$

ここで、 r_s ：日融雪量 (mm/日)、 c ：融雪係数 (mm/°C/日) であるが、融雪係数は冬期を3区分する。ここでの区分期間は11～1月 (c_1)、2・3月 (c_2)、及び4・5月 (c_3) とおいた。 t_0 ：日平均有効気温 (°C) である。

4. 解析対象流域

対象流域は林業試験場東北支場山形試験地釜淵2号沢である。同流域に対する1942年の立木調査によると、スギ・ヒノキ等の針葉樹の蓄積は28.1m³/haであり、ブナ・ナラ等の広葉樹の蓄積は33.2m³/haであって、この時点では針葉樹と広葉樹の蓄積には大差がなく、また、林相は壮齢林であり林木の生長は盛んであった。

同流域では1947年12月に針葉樹を皆伐、冬中に搬出を完了、1948年製炭者が入り、沢の中央に築窯、夏までに広葉樹を皆伐、製炭を完了した。この時を以て同流域は完全に無立木地になったが、1949年～1952年までは年2回(6月中・下旬と9月中・下旬)の後生樹草の刈り取りが行われた。また、1953年には4月下旬～5月上旬に1回火入れが行われた。

筆者は既に同流域が壮齢林地であった1939年5月～1944年11月の気象・水文資料を用いて解析し、同流域の水文現象の特性について報告している(4)が、本研究ではこの成果と比較するために同流域が伐採跡地の状態を維持していた1948年4月～1953年12月の気象・水文資料を用いた。

II 解析結果

1. 定数の解析結果

本研究による未知定数は月別蒸発散比 $a(a_1 \sim a_{12})$ 、一次流出率 α_r 、圃場容水時有効水分量 M_f 、臨界点定数 β_0 、融雪係数 $c(c_1 \sim c_3)$ 及び降水量の補正係数 α_p であり、未知数の計は19個である。

同流域が壮齢林地であった1939年5月から1943年11月の資料を用いて解析した結果と比較するが、上記の19個の未知定数のうち、一次流出率及び圃場容水時有効水分量は変化がなく前期(壮齢林地)と同じと仮定した。従って、後期(伐採跡地)の未知定数は17個であるが、月別蒸発散比は文献(3)に示すように2か月ごと2回の解析から求めるので、実際的には11個の未知定数となる。

Table 1 には前期と後期の未知定数の解析結果を示したが、後期の蒸発散比は前期に比べて著しく低下した。蒸発散比の月別変化をみると、壮齢林地では1～7月のそれは1.0前後で、それ以外は1.0以上であったが、伐採跡地では4～10月のそれは、0.5～0.8であり、それ以外の月は0.4以下であった。臨界点定数は前期の0.20に対して後期は0.30とおおきくなった。前期の融雪係数 $c_1 \sim c_3$ はそれぞれ、1.5, 2.0, 2.5mm/°C/日であったが、後期のそれらはそれぞれ、0.0, 4.75, 5.75mm/°C/日と著しい変化がみられた。また、降水量の補正係数は前期と後期でそれぞれ0.30と0.27であり、両期間には大差がない。

Table 1. Results of analysis of unknown constant for watersheds
No. 2 of Kamabuchi experimental watersheds

Constant	Forest	Cut over
a: Evapotranspiration ratio.		
a ₁ (a of Jan.)	1.05	0.20
a ₂ (a of Feb.)	1.15	0.20
a ₃ (a of Mar.)	0.95	0.30
a ₄ (a of Apr.)	0.85	0.60
a ₅ (a of May)	1.05	0.80
a ₆ (a of June)	1.05	0.80
a ₇ (a of July)	0.95	0.50
a ₈ (a of Aug.)	1.20	0.70
a ₉ (a of Sep.)	1.35	0.80
a ₁₀ (a of Oct.)	1.55	0.75
a ₁₁ (a of Nov.)	1.65	0.40
a ₁₂ (a of Dec.)	1.30	0.15
α_r : Ratio of channel precipitation plus unsaturated runoff. (%)	16.0	16.0
Mr: Field moisture capacity. (mm)	170	170
β_0 : Critical constant.	0.20	0.30
c: Snow melt coefficient. (mm/°c/day)		
c ₁ (c of Nov.-Jan.)	1.50	0.00
c ₂ (c of Feb.-Mar.)	2.00	4.75
c ₃ (c of Apr.-May)	2.50	5.75
α_p : Correctional precipitation ratio	0.30	0.27

Note: Forest; 1940-1944 water year

Cut over; 1949-1953 water year

2. 流域降水量について

後期の降水量の補正係数は0.27であるが、これを用いて5水年（同流域での水年は前年の11月から当年の10月までである）の流域降水量の月別変化は Fig. 1 に示すとおりである。

降水量に補正量を考慮しなければならない期間は11月から3月であり、補正量はそれぞれ4.2, 25.4, 46.1, 25.5, 15.5mmであり、年平均補正総量は116.7mmであった。前期の年平均補正総量は155.5mmであったが、後期は補正係数が若干低下した関係で補正総量も低下した。

この補正した流域降水量と流出量から損失量を求めると、年平均損失量は408.4mmであった。

前期の損失量は685.1mmであるから、後期は276.7mmの損失量が低下したことになるが、この損失量の低下は森林の伐採による遮断量及び蒸散量の低下である。

なお、前期（壮齡林地）と後期（伐採跡地）のそれぞれ、5水年の年降水量と年流出量との関係を Fig. 2 に示した。

3. 蒸発散量について

蒸発散量の月別変化を Fig. 3 に示したが、前期に比べて各月とも蒸発散量が低下している

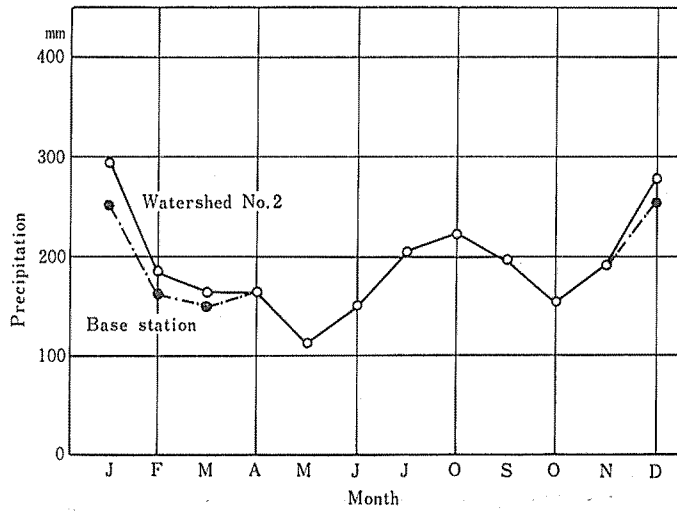


Fig. 1. Results of correctional precipitation for watershed No. 2 of Kamabuchi experimental watersheds for Nov., 1948 to Oct., 1953.

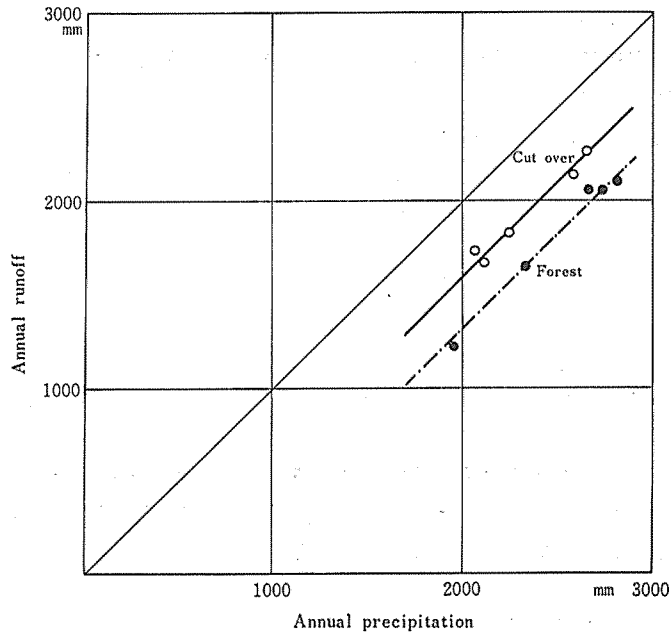


Fig. 2. Relation between annual precipitation and annual runoff for forest and cut over of watershed No. 2 of Kamabuchi experimental watersheds.

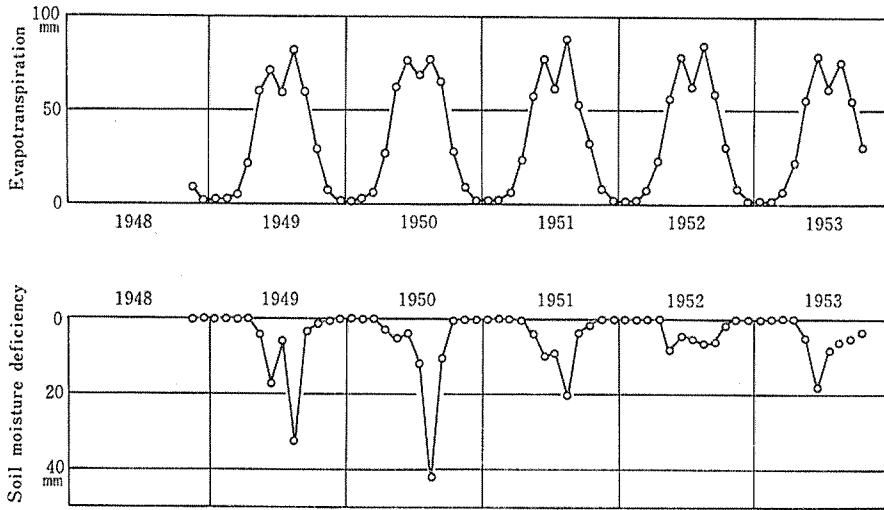


Fig. 3. Monthly variation of evapotranspiration and soil moisture deficiency for watershed No. 2 of Kamabuchi experimental watersheds.

ことが認められ、また、7月の蒸発散量が6、8月よりも低いのが特徴であるが、この7月の蒸発散量が6、8月よりも低いのは土壌水分の影響でないことが分かった。すなわち、蒸発散量が土壌水分に影響を受けるのは6、8月で、それぞれ0.1mm、4.3mmと壮齢林地のときに比べて極めて小さかった。

なお、年平均蒸発散量は417.0mmであり、これは年平均蒸発散能の0.63である。

4. 土壌水分について

圃場容水時有効水分量は前期同様に170mmを用いたが、後期の土壌水分の月別変化は Fig. 3 に示すとおりである。前期5年の土湿不足の最大が1943年7月の90.1mmであるのに対して後期の土湿不足の最大が1950年8月の41.9mmと著しく小さい。

Ⅲ 考 察

以上のように、森林の伐採にともなって、流域の水文現象がかなり影響を受けることが分かったが、前期と後期とでは気象条件が若干異なり、このことが、壮齢林地と伐採跡地の水文現象の比較に影響を及ぼすことも考えられるので、本研究では下記に示す方法で比較することにした。

Table 1 に示した前期の解析結果と後期の気象資料を用いて、改めて壮齢林地と仮定したときの各種の水文現象を推定した。これと後期（伐採跡地）の解析結果とを比較するので、気象条件の相違による影響は考慮しなくて良いことになる。

1. 降水量について

壮齢林地と伐採跡地の降水量を比較すると、壮齢林地の流域年平均降水量は2349.5mmであって、伐採跡地のそれは2336.5mmで、両者の差は13.0mmであり、森林の伐採によって、雪の移動量の差（雪の吹き込みと吹き払いの差）には大差が無かったことがうかがえる。

2. 蒸発散量について

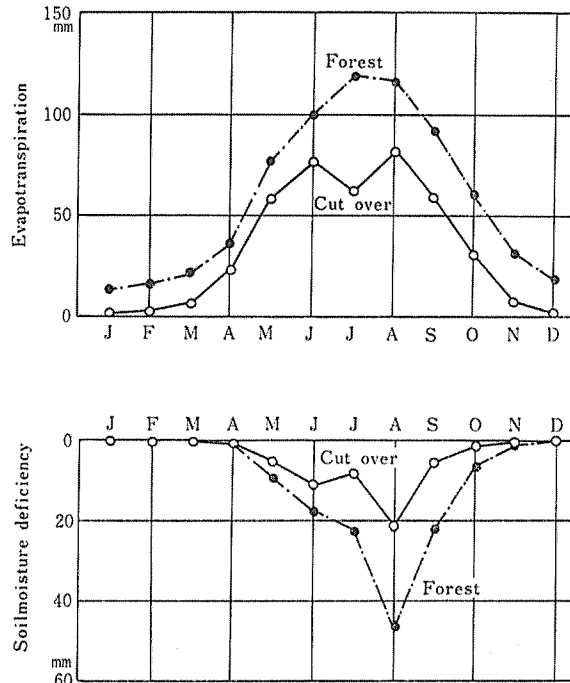


Fig. 4. Results of monthly average evapotranspiration and soilmoisture deficiency for forest and cut over.

壮齢林地と伐採跡地では蒸発散比に大きな相違が認められたが、この原因は壮齢林地の降水の遮断量と蒸散量の低下が主なる原因と考えられる。さらに、冬期に蒸発散比が著しく低下したのは降雪の遮断量と雪面の凍結による雪面からの蒸発量の低下が考えられる。

壮齢林地と伐採跡地の蒸発散量の変化を月別に示したのが Fig. 4 であるが、森林を伐採すると蒸発散量が各月ともに低下するが、夏期の低下が著しい。また、伐採跡地の蒸発散量は壮齢林地と比較して7月の低下が著しい。

以上のような変化は森林の伐採による影響であるが、この変化は下記に示すような理由によるものと思われる。

森林を伐採し、さらに、年2回の刈り払いまたは火入れを行ったために降水の遮断量が著しく低下したことで蒸散量の低下が考えられる。これに対して森林伐採による地表面からの蒸発が活発に行われたことが予想できる。しかし、この蒸発量の増加が森林の伐採による遮断量及び蒸散量の低下よりかなり小さかったものと推察される。

また、7月の蒸発散量が6、8月より低下した原因は、前述のように、土壌水分の影響が無かったことを考慮すると、1949年～1952年の6月中・下旬に刈り払いを行ったために、その影響が7月の蒸散量の低下となって現われたと思われる。

3. 土壌水分について

土壌水分の月別変化については Fig. 4 に示したが、壮齢林地と伐採跡地とは夏期においてかなりの相違が認められた。また、伐採跡地の土壌水分の動的相(1) (一般に圃場容水量以下

の状態の時期が大勢を示すもの)の期間は5か月と壮齢林地の6か月より1か月短い。

4. 融雪について

壮齢林地と伐採跡地の融雪係数を比較して分かるように壮齢林地では冬期の全期間に融雪が見受けられ、また、融雪係数は積雪初期から終期にかけて漸増する傾向をしめしているが伐採跡地では積雪の初期(11~1月)には融雪は認められずに、積雪の中期・後期に急激になる。

このような現象の相違が現れた原因は森林伐採による流域の地表の気候の変化によるものと考えられる。すなわち、森林は林外に比べて林内地表の最低気温を上昇し、最高気温が低下させる作用があるが、さらに、林内の積雪密度は林外に比べて経時変化が緩慢である。また、無林地では冬期の初期に表土が凍結することも考えられるが、有林地では森林と落葉の存在で保温されたために表土の凍結はなかったものと推察される。

これに対して、無林地では最低気温が低くなるために積雪の密度が急激に変化すると共に土壌が凍結しているために地温の影響が遮断されたためと考えられる。

IV 摘 要

山地流域の森林を伐採すると流出量が増加することは既に知られているが、この流出量の増加が降水の遮断量の低下、蒸散量の低下に起因することは予想できるが、これらの影響因子がどの季節にどの程度の作用があるかについての検討は極めて少ない。さらに、森林を伐採すると融雪洪水が増加することは現象として認められているが、この融雪洪水に関係する融雪係数の時期的変化について解析した結果はみあたらない。そこで、筆者は積雪地方の山地流域における森林の伐採による各種の水文現象の解析を行った。その結果、壮齢林地と伐採跡地とは各種の水文現象に大きな変化が認められた。

初めに、蒸発散量に関する蒸発散比の月別変化をみると、壮齢林地では1~7月のそれは1.0前後で、それ以外は1.0以上であったが、伐採跡地では4~10月のそれが0.5~0.8それ以外の月は0.4以下であった。このように、壮齢林地と伐採跡地では蒸発散比に大きな相違が認められたが、この原因は壮齢林の降水の遮断と蒸散の低下が主なる原因と考えられる。さらに、冬期に蒸発散比が著しく低下したのは降雪の遮断量と雪面の凍結による雪面からの蒸発量の低下が考えられる。

壮齢林地と伐採跡地の融雪の時期的な特性が認められた。壮齢林地では冬期の全期間融雪が考えられるが、伐採跡地では森林の伐採による最低気温の低下が作用して雪面が凍結するために雪面からの蒸発は極めて小さくなる。

引用文献

1. BETHLAHMY, N. (1962) First year effects of timber removal on soil moisture. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology* 7: 34~38.
2. 石井正典ほか (1985) 積雪地方の山地流域に適用する水収支計算モデルについて。日林誌 67: 92~98.
3. 石井正典 (1987) 林相の違いが蒸発散・土壌水分におよぼす影響。岩手大農報 18: 211~225.
4. 石井正典 (1987) 積雪地方の山地流域における冬期降水量の補正及び蒸発散・土壌水分の季節的变化について。岩手大農報 18: 226~235.
5. 四手井綱英 (1955) 森林による積雪の変化。雪水の研究 (2): 195~202.

EFFECTS OF FOREST CUTTING UPON HYDROLOGICAL PHENOMENA IN THE MOUNTAIN BASIN OF SNOWY REGIONS

Masanori ISHII

Summary

It is known that the effluent of water is increased by felling the forest. Although it is considered that the increase of water effluent is caused by the decrease of interception of precipitation and transpiration, it has hardly been investigated in what season and how these factors affect the increase of water effluent. No analytical result indicating the seasonal variation of the coefficient of snow melting related to flood of melted snow has been found though it is recognized that the flood of melted snow is increased by felling the forest.

The author analyzed various hydrologic phenomena caused by felling the forest. The results indicated that there are large variations in various hydrologic phenomena at mature forestries and cutovers.

The monthly variation of evapotranspiration ratio concerning the amount of evapotranspiration from January through July at mature forestries is approximately 1.0, but it is 1.0 or more in the other months. That monthly variation from April through October at cutovers is 0.5 to 0.8, but it is 0.4 or less in the other months.

Thus, there is large difference in the evapotranspiration ratio between the mature forestries and the cutovers. It is considered that this is mainly caused by the decrease of interception of the precipitation and evaporation at mature forestries. Remarkably decrease of the evaporation ratio in winter may be caused by lowering of the evaporation from the surface of snow due to interception of snow fall and freezing of surface of snow.

The seasonal features of snow-melting at mature forestries and cutovers have been recognized as follows: snow melts during the whole winter at mature forestries, while the evaporation from the surface of snow is extremely little at cutovers because the surface of snow is frozen due to lowering of the maximum temperature caused by felling the forest.