速　報

鹿伏森林理水試験地における量水・水質試験について[*1]

―1999年，2000年―

姫野　光雄[*2]・諫本　信義[*2]

火山性流域に造成した森林の水源涵養機能の変化を評価するために量水・水質試験を行い，1999年と2000年の観測データから以下の結果を得た。1）流域水収支法から，本試験流域は浸透水の量水不可能な深層への透過が考えられた。2）流況曲線は低水流量と渇水流量について年度較差が小さく，比較的安定した流況を示した。3）pH は平均で7.07とほぼ年間を通じて安定しており，電気伝導度は平均で52.7μS/cmであった。4）各種イオンではK^+の値が高く，SO_4^{2-}が低い値を示しており，火山灰流域の特徴を示した。5）日流出量の増加に対するイオン濃度の変化は，Na^+，Ca^{2+}，Mg^{2+}，K^+が負の相関を示し，SO_4^{2+}が正の相関を示した。

Ⅰ．はじめに

大分県玖珠郡九重町大字野上字鹿伏地域は古くから放牧，採草地として利用されてきたが，源流域の水源涵養機能を高めることを目的として，昭和61年から重要水源山地整備治山事業で原野造林を実施した。当初試験地内の大部分はススキを主とする草原であったが，クヌギを主体とする植林が行われ，植生は徐々に回復している。

このような中で，火山性流域に造成した森林の水源涵養機能を長期的な観測によって評価するため，昭和63年に水文観測の試験流域を設定した。しかし，観測は度重なる台風の襲来による施設の破壊等で困難を極めた。近年，年間を通じて欠測なく観測データが得られるようになり，ここでは，その基礎資料として植栽後12年，13年経過した時点における流出量および水質について検討したので，その結果の報告をする。

なお，本調査は県森林保全課治山係の全面的な協力により実施されたものであり，また，水文観測技術から本報のとりまとめに至るまで，森林総合研究所水保全研究室長の藤枝基久博士にご懇篤なご指導を賜り，ここに記して謝意を表する。

Ⅱ．試験地の概要及び試験方法

図－1は鹿伏試験地の位置と地形・植生図を示したものである(*3*)。流域面積は16.1haであり，標高は816～1,020mで，山腹勾配は全般的に26°～35°である。

流域の表層地質は鹿伏岳火山岩と呼ばれる安山岩質の火山噴出物で，風化が比較的進んでいる。土壌は，第4紀以降における九重，阿蘇等の活発な火山活動による火山灰被覆の影響を強く受けており，火山灰に由来する黒色土壌が厚く分布している。このため1次谷では流水のないところが多く，2次谷においても部分的に伏流するような箇所もみられる。

森林の植生は，クヌギの人工林が主体であるが，一部スギ・ヒノキの人工林と，谷部にはケヤキ，ハリギリ等を主体とする渓畔林，尾根部にはミズナラ，ブナ等を主体とする落葉広葉樹林の天然林が存在する（図－1参照)。

測水施設は試験流域の下流端に設置され，量水堰，湛水池，水位計室から構成される。量水堰はコンクリート製で，越流水深2.0mの直角三角堰である。水位観測は1999年1月1日～1999年3月24日までは水圧式水位計を使用し，1999年3月25日～2000年12月31日までは水研62型長期自記水位計を設置して行った。雨量観測は，転倒ます型雨量計を流域内に2ヶ所設置して行った（図－1）。なお，本報告で用いた降水量は2ヶ所の平均値である。

本研究では，雨量・流量データから作成した「日降水量・日流出量表」を用いて水文特性の検討を行った。なお，水年は暦年と同じとした。

直接流出量と基底流出量の分離は，勾配急変転法により行った。すなわち日流出量の増加日の前日を基点とし，ピーク日流出量発生後3日目の点を終点としてこれを直線で結び，その線の上部を直接流出量，下部を基底流出量とした（*1*)。複数のピークを持つ複雑なハイドログラフについても同様に，最後のピーク日流出量発生後3日目を直接流出の終点として分離した。また，この期間の全日降水量を一降水量として直接流出量に対応させた。年直接流出量は，一降水毎の直接流出量を年間集計したもので，年基底流出量は年流出量と年直接流出量との差である。

水質試験のサンプル採水は量水堰上流部の湛水池の水を，ほぼ2週間毎に50cc のプラスチック容器により行った。水質分析は，各種イオンについてはイオンクロマト法，pH はガラス電極法，電気伝導度は伝導率計により行った。

[*1] Himeno, M. and Isamoto, N.：Experiment of gauging water and water quality on Kabusi Experimental Basin

[*2] 大分県林業試験場　Oita Pref. Forest Exp. Stn., Hita, Oita 877-1363

Ⅲ．結果及び考察

(1) 流域水収支

表－1は1999年と2000年の月別降水量，流出量及び流出率である。月降水量の最高は1999年6月の667.0mm，最低は1999年12月の23.3mmであり，流出量の最高は1999年6月の66.28mm最低は1999年2月の8.86mmであった。流出率の最高は1999年12月の88.7%，最低は2000年9月の6.2%であり，全体的に冬季の流出率が高かった。なお，年流出率は平均で1999年が15.7%，2000年が11.7%であった。

一般に流域の水年を単位とする流域水収支は（1）式で表される。

$$P = R + Et \pm \Delta S \qquad (1)$$

ただし，P：年降水量（mm），R：年流出量（mm），Et：年蒸発散量（mm），ΔS：流域貯留量の変化（mm）

（1）式で$P - R$は年損失量であるが，$\Delta S = 0$のとき$P - R$は年蒸発散量に相当する。この式によると当流域の年蒸発散量は1999年が2,148.2mm，2000年が1,535.0mmとなる。わが国の年平均蒸発散量は，700～1,200mmの範囲にあり，南から北へまた中央山地に行くにつれて減少する（*5*）ことを考慮すると，本試験流域は浸透水の量水不可能な深層への透過があると判断された。

図－2は両年の流況曲線を示したものである。上述のように本流域では深部浸透があるため，この流況曲線は量水堰で測定された表流水の分析となる。年最大日流出量は1999年が19.62mm，2000年が13.92mmであり，年最小日流出量は各々0.21mm，0.22mmであった。各種流量（豊水流量，平水流量，低水流量，渇水流量）の分布範囲は，1999年が1.19～0.24mm，2000年が0.56～0.26であり，特に低水流量と渇水流量の差が小さく，比較的安定した流況を示した。なお，流況係数（豊水流量/渇水流量）は1999年が4.96，2000年が2.15であり，河況係数（最大日流出量/最小日流出量）は各々93.4，63.3であった。

(2) 一降水量と直接流出量の関係

図－3は2年間の一降水量と直接流出量との関係を示したものである。一降水量（Ps：mm）と直接流出量（DR：mm）の関係は，次の指数関数式によって示された。

$$DR = 0.0094 Ps^{1.2032} \quad (r = 0.923) \qquad (2)$$

また，直接流出率は一降水量の増加に伴い増加したが，期間中の平均直接流出率は僅か2.3%であった。流域踏査の結果，本流域では流路およびそれに近接する湿潤区域や崩壊地などの不浸透域が0.25haあり，流域面積16.1haの1.6%に相当した。したがって，これらの不浸透域が直接流出の発生に寄与し，流域の大部分は浸透域であるものと考えられる。

ところで，本試験地内の土壌調査結果によると，土壌水分貯留量（土壌層厚100cmとして孔隙量から算定）は272.9mmであり（*3*），それを上回る浸透水は更に深部に透過し貯留されるものと考えられる。これは火山灰層が厚く堆積した流域の特徴で，流域貯留量が大きいと言うことができる。

なお，年直接流出量と年基底流出量の比は，両年とも3：7であった。これにより，本流域の年直接流出量は年降水量の5%以下と見積もられる（表－1参照）。

(3) 水質分析

表－2は1999年1月から2000年12月までの2年間の水質分析結果である。採水は43サンプルで，pHは平均で7.07とほぼ中性で，年間を通じて安定している。電気伝導度は平均で52.7μS/cmであり，広瀬らの全国34ヶ所の平均値（*2*）にくらべ約30ほど低い値を示している。各種イオンはNO_3^-，NH_4^+，K^+が前出の全国平均値に比較して高い値となり，Na^+，Mg^{2+}，Ca^{2+}，Cl^-，SO_4^{2-}は低い値となった。K^+の高いことと，SO_4^{2-}が低いことは一般的に火山灰流域の特徴（*4*）であるといえる。

図－4は採水日の日流出量と各種イオン濃度との関係である。日流出量の増加に対してNa^+，Ca^{2+}，Mg^{2+}，K^+が負の相関を示し，SO_4^{2-}が正の相関を示した。これは降水により直接流出が発生し，SO_4^{2-}を吸着した火山灰土壌が渓流水中に多く含有されたためと推察される。以上述べたように，水質調査の結果からも，火山灰層から成る流域の特徴を反映した結果が得られた。

引用文献

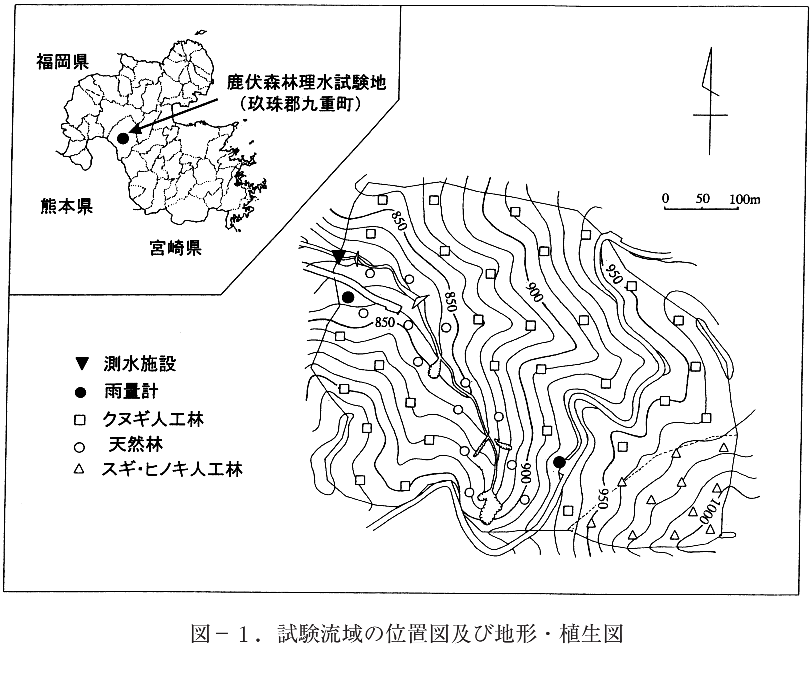
(*1*) 藤枝基久ほか（1995）日林誌 77：145－147.

(*2*) 広瀬顕ほか（1988）京大演報 61：162－173.

(*3*) 諫本信義ほか（1998）大分県林業試験場研究時報 26：1－45.

(*4*) 諫本信義・飛高信雄（1998）大分県林業試験場研究時報 25：18－27.

(*5*) 山本荘毅・高橋裕（1987）序説水文学，234pp　共立出版，東京.

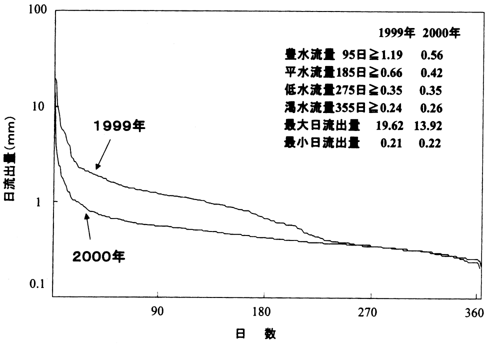


図－１．試験流域の位置図及び地形・植生図

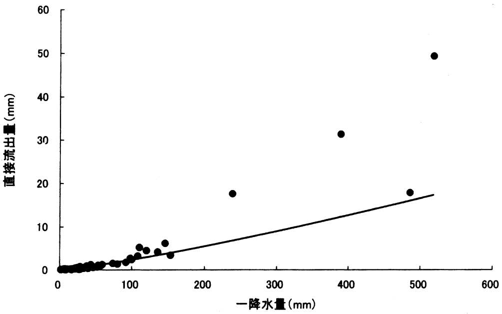
表－１．月降水量・月流出量

1999年	降水量（mm）	流出量（mm）	流出率（%）
1	25.3	10.89	43.0
2	62.3	8.86	14.2
3	137.0	11.17	8.2
4	109.8	12.06	11.0
5	164.0	13.20	8.0
6	667.0	66.28	9.9
7	269.5	45.29	16.8
8	426.8	63.01	14.8
9	483.5	77.02	15.9
10	91.5	42.50	46.4
11	87.8	28.65	32.6
12	23.3	20.67	88.7
合計/平均	2,547.8	399.60	15.7

2000年	降水量（mm）	流出量（mm）	流出率（%）
1	81.8	18.35	22.4
2	38.5	13.32	34.6
3	135.8	14.73	10.8
4	100.0	12.13	12.1
5	192.8	13.63	7.1
6	484.5	44.93	9.3
7	113.5	21.32	18.8
8	70.3	13.23	18.8
9	246.8	15.31	6.2
10	102.5	11.67	11.4
11	121.3	15.32	12.6
12	50.5	9.36	18.5
合計/平均	1,738.3	203.30	11.7



図－２．流況曲線

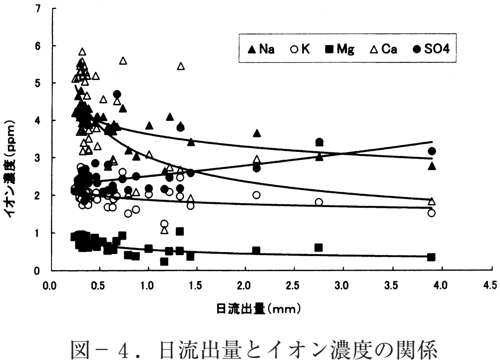


図－３．一降水量と直接流出量の関係

表－２．水質分析結果

単位：ppm，μs/cm

要　素	Na	NH_4	K	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	pH	EC
平　均	3.92	0.20	2.00	0.70	3.96	2.20	0.90	2.47	7.07	52.7
標準偏差	0.45	0.11	0.31	0.20	1.28	0.33	0.53	0.51	0.18	4.1
最　小	2.63	0.01	1.24	0.23	1.07	1.05	0.48	1.84	6.78	43.9
最　大	4.79	0.52	2.75	1.03	5.84	2.91	3.65	4.70	7.52	68.4



図－４．日流出量とイオン濃度の関係

（2001年12月18日　受理）