

牧場開発に伴う水文環境変化の研究

四方田 穆
(農業水文学研究室)

緒 言

近年山地開発による農地造成が各地において計画・実施されている。これら開発に伴う自然環境の変化がいろいろな面で周辺に影響を及ぼしているが、水文現象についてもそのことが言われる。農地開発の場合は、住宅地や工場用地造成の場合ほど強い影響を及ぼさないにしても、高水流出、低水流出に変化をもたらす。特徴的な現象としては、一般に強雨時において総流出量、ピーク流出量が増大し、ピーク流出の発生時間が早くなって、下流排水河川の能力不足を来す。この反面低水流量(常時流量、基底流量)は減少し、これら山地河川の自流入に依存している下流水田にとって水源流量不足をもたらす。

本研究では、津高牧場を研究題材とした特定研究の一環として、開発流域からの流出特性を中心に検討を行って来た。本文は主として長期的な水収支の観点から取りまとめたものである。

研究 方 法

研究方法の中心は、津高牧場内において雨量及び流出量を実地に長期連続観測し、その記録を解析することにある。

流出量を測定するためには、その流域が明確にできて、降雨時の流出量のみならず常時の流出量も捕そく可能なことが必要である。このような見地から牧場内を踏査の結果、流出量観測地点を第2砂防ダム直下流に定め、そこに静水池、四角ゼキ、及び長期自記式の水位計と雨量計を設置した。静水池は既設砂防ダム下流側水叩きを利用し、周辺をコンクリート壁で囲み、下流側に幅0.80 m、高さ0.60 mの四角ゼキを取付けた。

観測水位を流量に変換する四角ゼキの流量公式としては、施設面での制約上JIS採用公式の適用条件が満たされないため、Francis公式¹⁾を用いた。

$$Q = 1.84 (b - 0.2h) h^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

ここに、Q:流量(m^3/s), h:越流水深(m)

b:ゼキ幅(0.8 m)

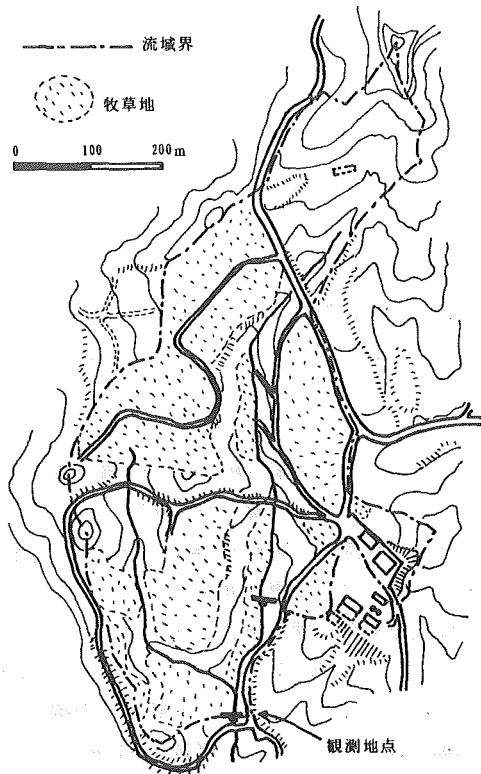
また越流水深が上限値0.6 m以上となれば、幅0.2 mのコンクリート壁を越流するので、その場合には広頂ゼキの理論公式²⁾を用いた。

$$Q = 1.70 B h^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

ここに、h:コンクリート壁からの越流水深(m), B:コンクリート壁長(6.2 m)

次に第2砂防ダムの支配流域は第1図に示すとおりで、総面積は22.98 haである。流域の地目は第1表に示すとおりで、造成牧草地はそのうち約63%である。なお流域平面図の上方山林と中ほど左側の牧草地は津高牧場敷地外で、研究流域に占める津高牧場面積は10.93 ha(47.6%)である。

牧草地造成は、自然山林のうち比較的緩傾斜部の樹木を伐採し、表面を整地して行われたもので、大規模な土運搬を伴う改良山成工方式による造成ではない。したがって急傾斜部の樹木はそのまま残されており、本研究流域からの流出は造成草地だけからのものではない。



第1図 研究流域平面図

第1表 流域の地目別面積

地目	面積	割合
牧草地	14.48 ha	63.01%
山林	7.85	34.16
建物	0.23	1.00
道路	0.42	1.83
計	22.98	100.00

上記の雨量、流出量観測は53年8月から開始されたが、当初は設備の面から欠測が多かったため、以下の検討考察には54年3月から57年12月までの記録を用いた。

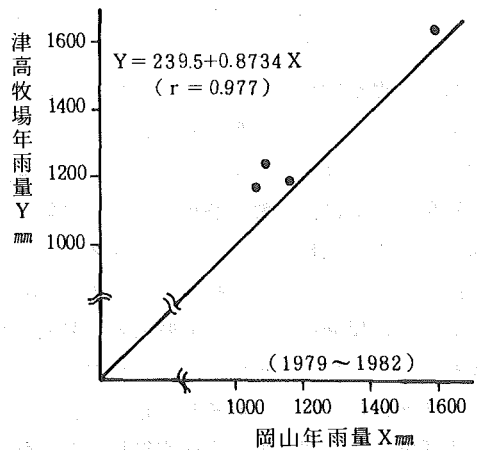
結果と考察

1. 降雨条件

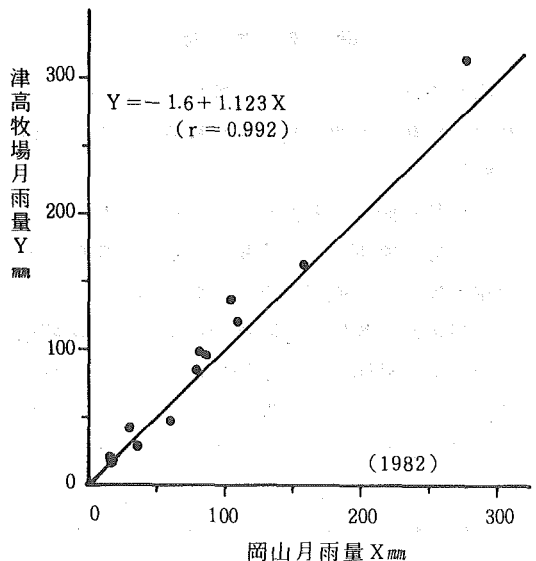
約4年間の水文状況を検討するにあたり、まずこれらの年の水文的位置付けをする必要

がある。津高牧場における観測期間は短いので、この間の記録を岡山気象台の記録と対比のうえ、後者の長期間の記録を利用する。

まず津高牧場と岡山気象台における4年間の年雨量を比較してみると（ただし54年は3月以降）第2図のとおりで、両者の相関係数は0.977となる。次に57年1月から12月の両者の月別雨量を比較してみると第3図のとおりで、相関係数は0.992である。



第2図 岡山と牧場の年雨量比較
(ただし、1979年は3月～12月)

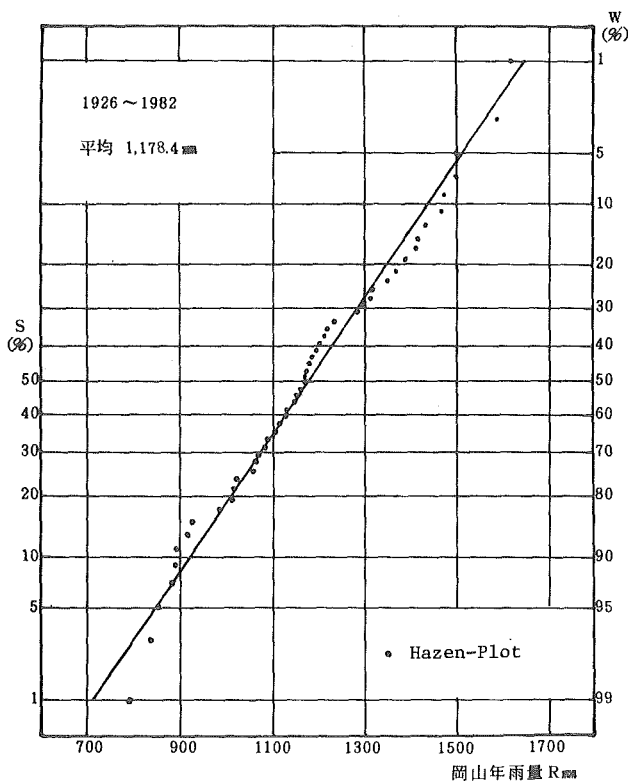


第3図 岡山と牧場の月雨量比較

以上の結果より、津高牧場における雨量は岡山気象台の雨量より若干多目であるが、全体的傾向は類似しているとみてよい。そこで岡山気象台における昭和元年から57年までの欠測年を除く50年間の年雨量記録を、(3)式のHazen-Plot³⁾を用いて正規確率紙にプロットすれば第4図が得られる。

Hazen-Plot $W_i = \frac{2i-1}{2N} \times 100$ (3)
 ここに、 W_i : 超過確率(%), N : 全記録数 (= 50), i : 記録を大きい方から並べたときの順位 ($i = 1 \sim 50$)

年雨量の分布は正規分布をするとみなせるので⁴⁾、この方法で岡山年雨量の確率計算を行い、結果を図4の直線で示した。岡山も津高牧場も年雨量の傾向は同じであると考えれば、54年は4.0年に一度発生する多雨年(平均より雨量が多い)、55年は46.5年に一度の多雨年、56年及び57年はそれぞれ3.1年と3.7年に一度の小雨年(平均以下)として位置づけられる。



第4図 岡山年雨量の確率分布
 (S : 非超過確率)

2. 年間水収支

一定期間、一定流域に対する水収支式は、流域外からの流入がない場合には次式で示される。

$$P = D + G + ET + \Delta S \quad (4)$$

ここに、 P : 降水量, D : 地表流出量,

G : 地下流出量, ET : 蒸発散量,

ΔS : 流域内貯留量 S の変化量

水収支期間を一年間にとれば、その間の貯留量 S の変化は他の項の大きさに比べて無視できる。また第2砂防ダムが完全に岩着状態で地下水流をしゃ断しているかどうかは明らかでないが、良好な基礎の上に構築されているので、 $G \approx 0$ と仮定すれば、

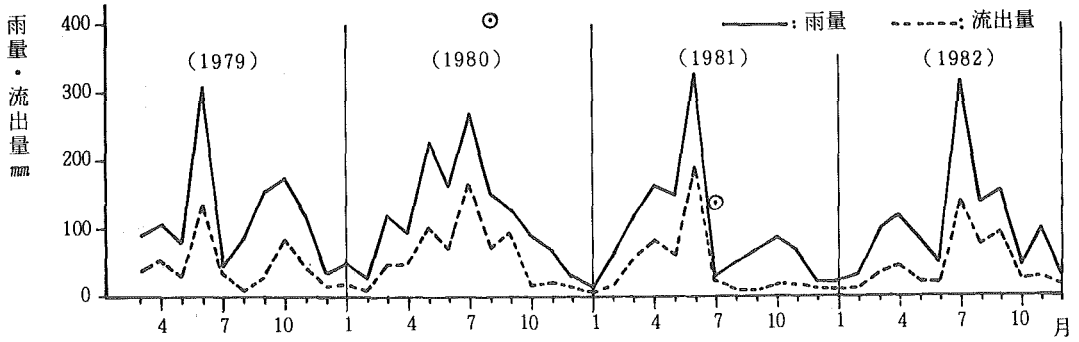
(4)式は近似的に

$$P = D + ET \quad (5)$$

と表すことができる。

このように考えて昭和54年3月から57年12月までの月ごとの雨量、流出量の変化を図示すれば第5図のとおりである。両線の間縦距がその月の蒸発散量を表すことになる。

これらの値を年ごとにまとめれば第2表のとおりとなる。55年、56年にはそれぞれ1回ずつ水位計故障による欠測期間があるが、年流出量は年雨量が1,100 mm台のときその40%前後、多雨年にはそれより高い率で流出している。流出量のうち利水に關係する低水流出量ならびに蒸発散量については後述するが、林地の蒸発散量が温暖少雨地方の低山地で700~800 mm⁵⁾と言われるので、(5)式の仮定はほぼ妥当であろう。



第5図 月別雨量・流出量 (⊙は流出量欠測時を含んだ雨量)

第2表 年間水収支

年次	雨量	流出量	流出率	蒸発散量	備考
54年	1,191.0 <small>mm</small>	470.1 <small>mm</small>	39.5 <small>%</small>	720.9 <small>mm</small>	3月～12月の合計
55年	(1,636.0) 1,379.5	649.0	47.0	730.5	8/24～8/31 流出量欠測
56年	(1,239.5) 1,129.5	470.2	41.6	659.3	9/3～9/7 同上
57年	1,167.5	503.2	43.1	664.3	
平均	(1,347.7) 1,225.5	540.8	44.1	684.7	

(注) 雨量 () は流出量欠測期間も含む

以上のことから、短い年数の記録ではあるが、雨量、流出量、蒸発散量の大体の傾向が理解される。

3. 山林流域との比較

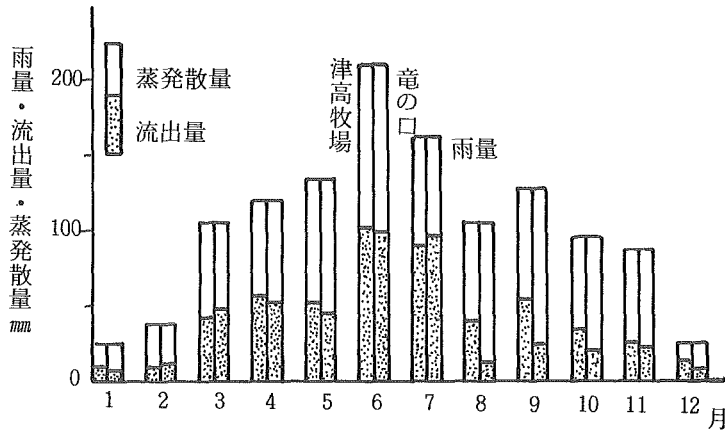
研究流域はその2/3が牧草地に変っているが、造成前の山林状態での流出状況は明らかではない。そこで自然山林を対象とした流出観測が行われている林業試験場竜の口山試験地(岡山市祇園954)の記録⁶⁾を用いて、流出量、蒸発散量の検討を行う。

竜の口山試験地は南谷流域(22.61 ha)と北谷流域(17.27 ha)からなり、面積的には本研究流域に近い。いずれもマツや広葉樹が生育している。

月別の雨量、流出量の傾向は第5図のごとく年ごとに異なるので、津高牧場については

4年間(1月、2月は3年間)の平均値、竜の口山については、昭和53年以降の記録が公表されていないので、月別雨量の3年間の移動平均(ある年の月雨量とその前年、翌年の同月の雨量の平均)が津高牧場の当該月雨量にはほぼ等しい年の流出量(同じく月ごとの3年移動平均値で南北両谷の平均、ただし完全に津高牧場と同一雨量の記録は得られないので、流出量は雨量に応じて案分)をもって両者を対比した。その結果が第6図である。

1月から6月までと11月、12月については流出量と蒸発散量($E T = P - D$)の割合はほぼ等しい。ただし8月から10月までは、竜の口山の流出量は低くおさえられ、蒸発散量の割合が増加している。また図からは明らかでないが、7月の流出状況について、津高牧



第6図 津高牧場と山林流域の月別水収支比較

場では57年7月に雨量313.5mmに対して流出量は139.7mm（流出率44.6%）であったのに比べて、竜の口山では44年7月に雨量276.7mmで流出率82.1%，47年7月にはそれぞれ306.0mmで70.6%など、300mm前後の雨量の流出率は著しく高い傾向を示す。

雨量、流出量、蒸発散量の関係は降雨分布によって左右される。弱雨型の場合には直接流出量は少なく、土壌水分が増加し、夏期には蒸発散が促進されて流出量はその影響を受けると思われる。竜の口山での研究⁷⁾によれば、林相健全期には樹木が伐採や山火事の影響を受けた時期に比べて蒸発散量が7.5~12.5%増加し、反面直接流出量、基底流出量とも減少している。この事実から、月雨量が比較的少なくて植物生長の旺盛な8月、9月には竜の口山の蒸発散量が多くて流出量が少なく、樹林地が少ない津高牧場では逆の関係になっていることが理解される。

反対に強雨型の場合には、初期損失雨量以外の大部分が直接流出量となり、蒸発散が流出に影響する度合いは相対的に小さい。山林の雨水保留能は大きく、竜の口山の例⁷⁾でも林相健全期の直接流出量は15~20%少ない。このことからすれば、さきの7月流出量の対比については理由づけが困難である。ただし津高牧場における強雨期の直接流出率は開畑

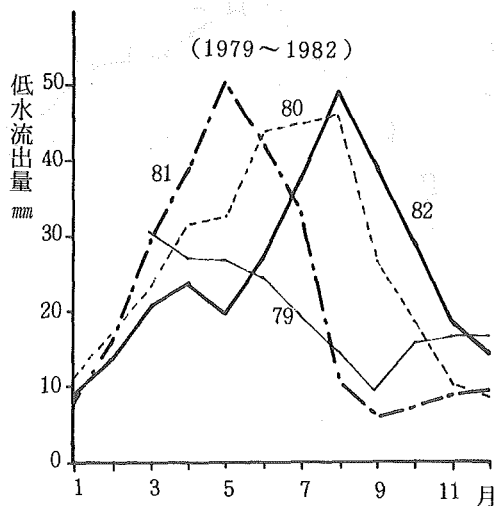
地に比べて低い傾向にある。

4. 低水流出量

津高牧場内において自流を灌漑に利用するなど、利水面からみれば低水流出量が重要である。

本研究では、連続雨量が約10mm未満の場合には初期損失のため目立った流出現象の変化

が生じないことから、一応連続雨量が10mm未満の場合の流出量はすべて低水流出量として取扱う。それ以上の強雨時においては、流出量ハイドログラフの逓減曲線上の変曲点によって分離した基底流出量を低水流出量とした。降雨の影響は数日間継続するから、暦の上で1か月間の雨量と流出量とそのまま対応するとは限らないので、3か月移動平均した月別低水量を第7図に示す。



第7図 月別低水流出量

4年間平均の1日あたり低水流出量は、1月、2月及び10月から12月までの間は0.3~0.5mm、4月から8月までは1.0~1.1mmで、3月

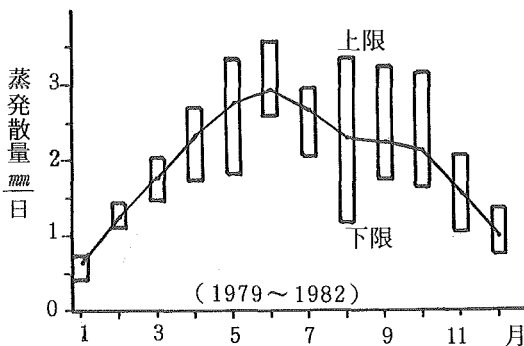
と9月はその中間の値である。寡雨である瀬戸内地方の濁水量は0.8~1.4 ($m^3/s/100 km^2$)といわれ⁸⁾、これは0.7~1.2 ($mm/日$)の流量に相当するが、狭い流域内での低水流出量ははるかに低い値を示し、利水計画上注意すべきである。

5. 蒸発散量

牧草地の蒸発散量を知ることは、灌漑計画立案上、または水収支的に低水流出量を推定するために必要である。

前述の理由から1か月の雨量と流出量をそれぞれ3か月移動平均し、(5)式の水収支式から求めた蒸発散量の日平均値が第8図である。図には4年間の上下限の範囲と平均値の線が示されている。この値は水収支的な平均値であるから、テンシオメータ等で求めた日最大蒸発散量はもっと大きい値を示すはずである。

また第2表に示す年間蒸発散量は660~730 mm で山林の場合より小さく、4年間の平均では2.0 $mm/日$ となる。



第8図 月別蒸発散量
(日量の上限・下限・平均)

あ と が き

本文は津高牧場造成後の雨量、流出量、蒸発

散量の関係について、昭和54年3月から57年12月までの観測結果に基づき、水収支の観点から取りまとめたものである。研究流域内には樹林地も含まれてはいるが、牧草地の水文特性の概略が理解されるであろう。この流域の一部は新岡山空港建設によって影響を受けるので、それまでの間観測を継続し、最終的に取りまとめたい。また本文では高水流出は検討されていないので、強雨時のピーク流出量、洪水到達時間を中心とした解析を行うことも残された課題である。

おわりに、本研究の遂行にあたって津高牧場関係教官、技官各位の多大な協力を得たことを記して、感謝の意を表するものである。

文 献

- 1) 永井荘七郎：水理学，130-131，コロナ社（1964）
- 2) 前出1）：138-139
- 3) 岩井重久・石黒政儀：応用水文統計学，69-71，森北出版（1976）
- 4) 石橋豊ほか：農業水文，62-63，コロナ社（1972）
- 5) 中野秀章：森林水文学，118，共立出版（1977）
- 6) 林業試験場関西支場防災研究室岡山試験地：竜の口山森林理水試験地観測報告（1959年1月~1977年12月），林業試験場研究報告308，133-195（1979）
- 7) 藤枝基久・阿部敏夫：竜の口山試験地における森林の成立が流出に及ぼす影響，林業試験場研究報告317，113-138（1982）
- 8) 農業土木学会：農業土木ハンドブック（改訂三版），946，丸善（1969）