

丘陵地における雨水の流出状況に関する研究

山下 栄次*・猶原 順*・石井 猛*・平田 まき子*
野瀬 和子*・黒田 利男**・松岡 隆**

*岡山理科大学 環境資源研究センター

**岡山地方気象台

(1989年9月30日 受理)

1 はじめに

我が国は、1960年代から、急速な都市の拡大が成された。特に、大都市周辺の丘陵地の宅地開発、リゾート開発等は著しい。丘陵地開発は、これまで森林や緑地が保水や遊水の機能を果たしてきた地域を、建物や舗装道路で覆ってその機能をなくしている。また、降雨が速やかに排出することを目的とした材質による排水路を設置するなどして、その地域の地下浸透能をなくしている。これら、丘陵地の地表の変化は、雨水の流出状況にも影響を与えていると考えられる。

都市の雨水については、1988年科学技術庁が報告書¹⁾を公表している。それによれば、都市化による降雨の流出状況の変化は、豪雨時に河川流出時間が短縮化し、流出量のピークの増大により都市の危険性が増大する。また、雨水の地下浸透の減少は、浅層地下水位を低下させ河川の平常時流量の減少や蒸発散量の減少等となって、自然界における水循環のリズムを乱しており、自然生態系に対し大きな影響を与えているとしている。また、都市の雨水を資源として捉える事も強調している。

一方、水文学の立場から、1980年、M.J.Kirkbyは山腹斜面で起きる水循環の素過程を野外の観測結果に基づいてとりまとめ、「Hillslope Hydrology」²⁾の成書をなしている。ここでは、表面流出に関するHortonの浸透理論は、大規模な自然流域とか不浸透性の小流域ではよくあてはまると評価している。

また、日野、長谷部³⁾は、各種の流出モデルを分類し解説しており、乾燥ないし亜湿潤気候、薄い植被、人間による破壊地域では、Horton型地表流が卓越するとしている。

さらに、気象庁予報部予報課⁴⁾では、洪水・土砂災害の予測技術として、各種の予測モデルの解説を行っている。ここでは、それぞれのモデルは長所・欠点を持っており、適合する対象河川も異なっているので、今後常に最適なモデルに改善していくことが重要な課題であろうとしている。

しかし、示されている例の多くは、10~1000km²規模の流域であったり、裸地、草地、牧草地、各種の耕作地等で、都市近郊の開発された小規模(10ha程度)の丘陵地の事例は紹

介されていない。また、降雨強度 (mm/H) は10mm/H以上の場合はほとんどである。

そこで、雨量強度0.5~10mm/H程度で、流域面積10ha程度の、都市近郊の開発された、丘陵地における雨水の流出状況について検討を加え、1. ハイドログラフの特徴 2. 降水量と流出量との関係に若干の知見を得たので報告する。

2 実験方法

1) 流出量の観測

流量計：パーシャル・フリューム式流量計

スロート幅 3インチ

有効測定流量 3~196m³/h

金門製作所製

積算計：テレパーム・セキ流量発信器，F J C型，

富士電気製造株式会社製

測定期間：1988年3月1日から1989年2月29日の1年間

観測者：本学水質管理室の職員

流出量：本学では生活雑排水は、合併浄化槽で集中処理し流量計へ、雨水などは直接側溝に流れ込み流量計へ到達する方式になっている。従って、観測している流出量はこれらの合計量である。

2) 雨量データ

岡山地方気象台（岡山市桑田町1-36）の地上気象観測日原簿より抜粋した一時間値 (mm/H)である。

対象地域とは4.1km離れている。

3) 実験対象地域

岡山理科大学（岡山市理大町1-1）を対象とした。流出量に関する地域は全て学園の敷地内である。流域概念図を図1に、流域最高地と、流量計を結ぶ鉛直断面図を図2に示した。

本校は、岡山市内の丘陵地に位置し、1964年に開学以来、年々構内の建物等の施設が増加してきた地域であるが、1988年4月から89年3月の間は流出に影響を与えるような、大きな建物等の工事はなかった。流域面積は、10.06haで、流域の地表の形状は緑地や林が47.2%、運動場、グラウンド、駐車場として裸地が10.6%、校舎や道路等舗装された面積が42.2%である。なお、舗装された道路や建物には側溝が完備しており、流量計の設置場所とつながっている。流出量測定地点と流域の最高地との高低差は、60mあり、流域の最も遠い地点との水平距離は450mである。

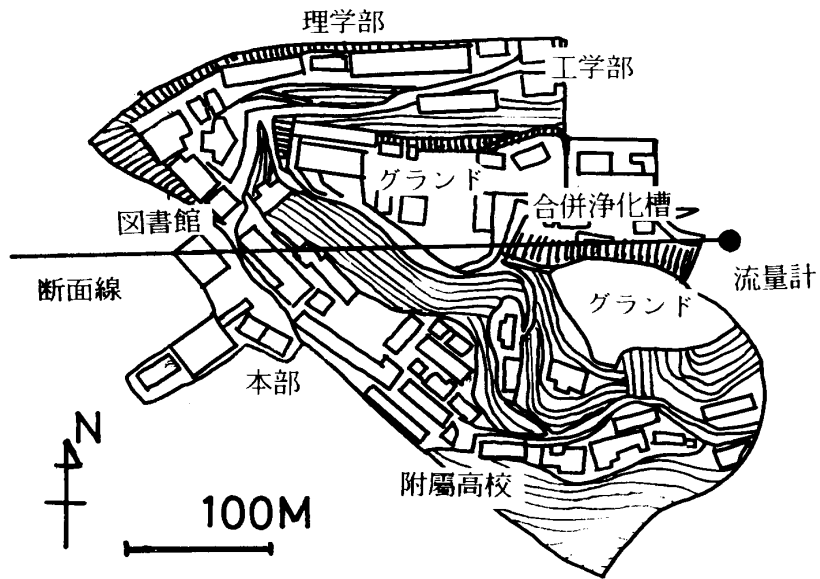


図1 流域概念図

- 注) 1 建物からの排水は全て、合併浄化槽や側溝を通じて流量計につながっている。
 2 等高線のある部分は緑地である。

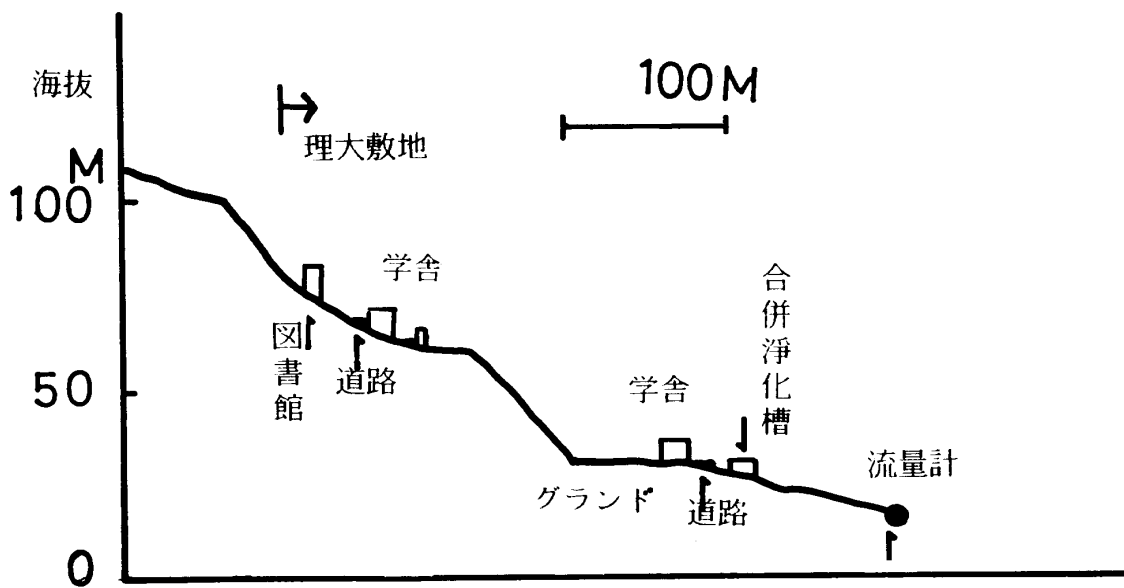


図2 流域の鉛直断面図

4) 流出量集計上留意した事項

流量計がスケールオーバー ($200\text{m}^3/\text{H}$ 以上) した時刻の降雨と流量計の関係は検討から除いた。先行する降水量にもよるが、 $2.5\text{mm}/\text{H}$ でもスケールオーバーした事例も認められ、観測期間中の14回の降雨中に記録された。降水による増水量と生活雑排水量との分離はせず、流量計に記録された値を流出量としてデータ処理した。

一雨降水量と総流出量の関係の検討に用いた流出量のデータは、毎日定時観測している積算計の読み取り値を用い一日の流出量とした。その他の検討に用いた流出量の値は記録紙のピーク高から読み取り一時間の流出量を算出した。

3 結果及び考察

1) ハイドログラフの実例

観測記録の例を図3～4に示した。図3は、1988年4月29日、17～19時の3時間に2.0, 1.5, 0.5mm/H、計4.0mmの短時間の降水が記録された時の流量計の記録である。降雨強度が浸透能を越えた時に、余剰水の最初の部分は小窪地を満たし、小窪地が満たされたとき地表面に地表流が発生する。本降雨の場合は降雨開始の一時間以内には急勾配のピークの上昇が記録された。つづいて降雨の終りと共に急激な逡減期になり逡減期の始めの30分間で $200\text{m}^3/\text{H}$ 近くあった流出量が $100\text{m}^3/\text{H}$ になった。流出量が元に復帰したのは7時間後であった。

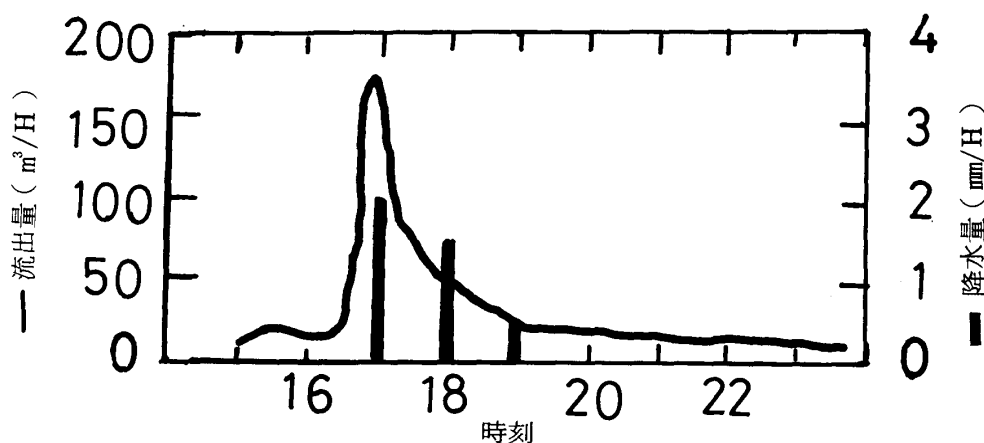


図3

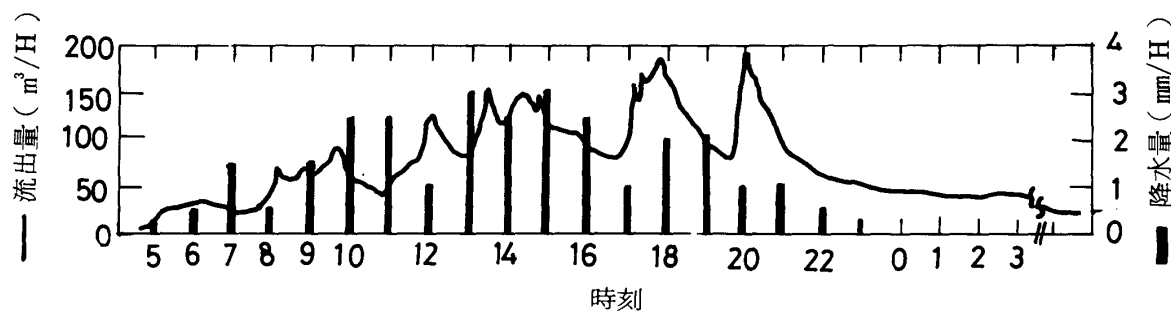


図4

図4は、1989年4月18日5時～22時、18時間連続で、降り始めは0.5mm/Hで徐々に強雨となった降雨の記録である。総降水量は29.0mmであった。流出曲線は、降雨強度（mm/H）とよく似た動きをしている。流出量の初期増加は、0.5mm/Hと降雨強度が低いため、急激な立ち上がりのピークは認められなかったが、降雨時刻の一時間以内には増加期の立ち上がりが認められた。連続した降雨中のハイドログラフは不規則な山と谷の連続のパターンを示している。降雨強度が同じ時刻内で変動しているか、余剰降雨の斜面下方への流れの合体が不規則であるためであろう。

降雨が終ると、急激な逓減期になり、200m³近くの流出量が30分以内には約1/2になることは図1と同じであった。しかし、流出量が元に復帰したのは、20時間後であった。日野等³⁾によると、100mの丘陵地での流出時間は、0.2～10時間であるとしているが、我々の観測したハイドログラフもこの値とよく一致した。また、Sherman等⁵⁾の測定結果ともよく一致した。

これらの実例から、本実験地での、初期表面流出は、Horton型地表流が卓越しており、 $Q_i = i - f_i$

Q_i : 流出量 (cm/H), i : 降雨強度 (cm/H), f_i : 浸透能 (cm/H)
が、成立する様に考えられた。

これは、本実験地の流路が短いこと、水路が整備されていること、舗装面積比が比較的高い(42.2%)こと、グラウンド等裸地での地下浸透が少なく、全体として地下浸透能が低いことによるものと考えられる。

2) 一時間降水量と一時間流出量の関係

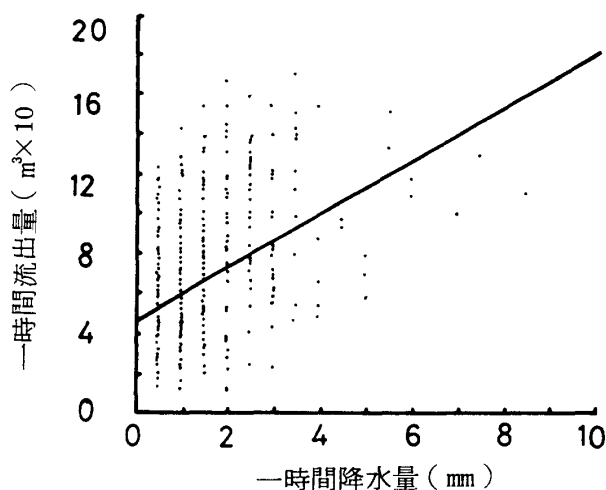


図5 一時間降水量と一時間流出量の関係

ハイドログラフが示すように本実験地では、降雨があると必ず、ほとんどタイムラグなしに、流出量が増加している。また、降雨強度が強いほど流出量の記録の立ち上がりは急であった。そこで、0.5mm/H以上の降水が記録された各時刻の降水量と流出量を比較検討した。調査期間中に0.5mm/H以上の降水のあった時間数は、延べ507時間であった。そのうち、採用できた流量計の記録は440時間である。不採用とした流出量データの多くは、流量計の測定能力を越えていたものである。440時間の降雨強度の最低値は、0.5mm/H、最高値は8.5mm/Hで平均値は1.41mm/H 標準偏差は1.15mm/Hであった。440時間の流出量の最低値は、13.7m³/H、最高値は168.7m³/Hで、平均値は65.7m³/H、標準偏差は34.6m³/Hであった。

一時間降水量と一時間流出量の関係を、図5に示した。

相関係数は0.443、寄与率は19.4%、一次回帰式は

$Y = 13.3X + 46.8$, X : 一時間降水量 (mm), Y : 一時間流出量 (m³) であった。

相関係数は有意 ($p = 0.01$) であり、一時間降水量が増加すると一時間流出量も増加するように見えるが、その量的な関係ははっきりしなかった。

一時間降水量と一時間流出量の関係の季節差を見たが、各季節とも、通年の結果と同じで、相関係数は有意 ($p = 0.01$) であるが、一時間降水量と一時間流出量の量的な関係ははっきりしなかった。これは、各時刻の流出量は先行する降水量の影響を受けているためと、生活排水等の流量の変動補正をしていないためと考えられた。

3) 一雨降水量と総流出量の関係

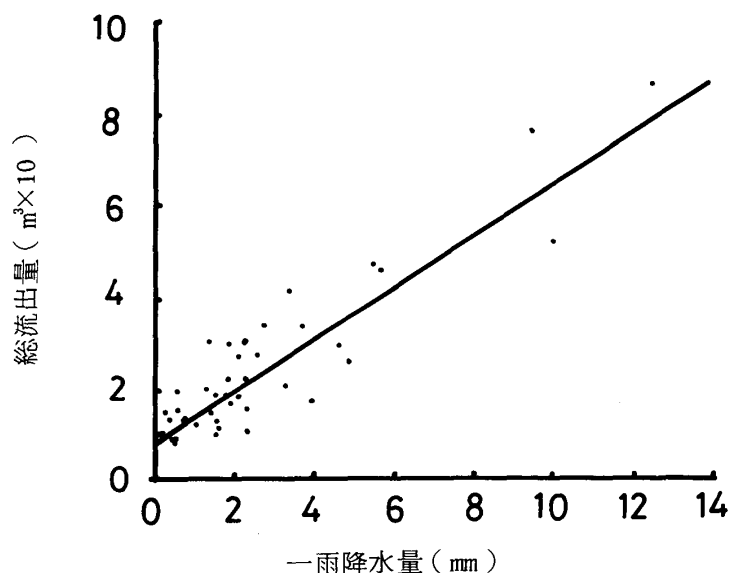


図6 一雨降水量と総流出量の関係

午前9時から24時間に0.5mm/H以上の雨量のあった日が連続している場合は連続した一雨として取扱い、それに対応した日毎の流出量を加算し総流出量として、一雨降水量と総流出量の関係を比較検討した。降雨強度が0.5mm/H以上でかつ流出量が200m³/H以下で観測が正常と判定できた一雨数は49回であった。一雨降水量の最低値は0.5mmで最高値は121.5mm、平均24.5mmであった。総流出量の最低値は288m³、最高値は、8203m³であった。連続日数は1～3日であった。

一雨降水量と総流出量の関係を図6に示した。

相関係数は、0.91、寄与率は82.8%、一次回帰式は、 $Y = 568X + 434$ 、X：一雨降水量 (mm) Y：総流出量 (m³)、であった。相関係数は有意 ($p = 0.01$) であり、一雨降水量が増加すると総流出量はほぼ直線的に増加していた。

Horton型地表流の浸透理論からの $Q_i = i - f_i$ は、一時間降水量と一時間流出量の関係では定量的ではなかったが、一雨降水量と総流出量の関係では成立しており、本実験流域では、Horton型地表流が卓越していることを示していた。これは、0.5mm以上の降雨があると、直ちに表面流量の増加があり、雨が終わると30分以内で急激な逓減が始まることと、元の安定した水量に戻るのに必要な時間は、総降水量にもよるが、7～20時間程度であり、一日(24時間)で数的処理すれば流出後期の流出量も含むことができるからであると考えられる。また、生活排水等の水量も日単位で取り扱うことにより、平均化されたためであろうと考えられる。

4 まとめ

10ha程度の都市近郊の開発された丘陵地における、降雨強度0.5～10mm/H程度の降雨時の雨水の流出状況について検討を加えた。

- 1) ハイドログラフでは、降雨強度 (mm/H) と流出量 (m³/H) とはよく似たパターンで挙動した。
- 2) 一時間降水量と一時間流出量の関係は、相関係数は有意 ($p = 0.01$) であるが、寄与率は19.4%で、一時間降水量が増加すると一時間流出量も増加するように見えるが、その量的な関係ははっきりしなかった。
- 3) 一雨降水量と総流出量との関係は、相関係数0.91、寄与率は82.8%で一次回帰式は、 $Y = 568X + 434$ 、X：一雨降水量 (mm)、Y：総流出量 (m³)、であった。相関係数は有意 ($p = 0.01$) であり、一雨降水量が増加すると総流出量はほぼ直線的に増加していた。
- 4) 本実験地では Horton 型地表流が卓越していた。

参考文献

- 1) 科学技術庁資源調査会編：都市の雨水を考える－潤いと水循環の回復をめざして－，大蔵省，1988.

- 2) M. J. Kirkby等 (日野等訳) : 新しい水文学, 朝倉書店, 1983.
- 3) 日野幹雄, 長谷部正彦 : 水文流出解析, 森北出版, 1985
- 4) 気象庁予報部予報課 : 洪水・土砂災害の予測技術, 測候時報 Vol.55 No.4, 1988.
- 5) Sherman. L. K. and Musgrve. G. W. : Infiltratio', in Hydrology, Meinzer, O. E., (Ed.), McGraw-Hill, York, Chapter 7, 712pp. 1942.

Studies on Overland Flow of Rainfall in Hillslope

Eiji YAMASHITA*, Jun NAOHARA*, Takeshi ISHII*,

Makiko HIRATA* Kazuko NOSE*

Toshio KURODA** and Takashi MATSUOKA**

**Environmental Resources Research Center, Okayama University of Science*

1-1 Ridaicho, Okayama 700 Japan

***Okayama Local Meteorological Observatory*

1-36 Kuwatacho, Okayama 700 Japan

(Received September 30, 1989)

Relationship between rainfall and overland flow in Okayama University of Science where the investigated contributing area were 10(ha) and the ratio of the area were a green track of land and a grove: 47%, a playground and a parking place: 11% and a schoolhouse and a road: 42% was investigated.

- 1) In hydrograph, the behavior of rainfall intensity(mm/H) was related to the behavior of overland flow(m^3/H). The peaks of hydrograph were observed with above 0.5(mm/H) rainfall.
- 2) The coefficient of correlation between rainfall(mm/H) and overland flow(m^3/H) was 0.44 ($p < 0.01$) and ratio of contribution was 19.4%.
- 3) The relationship between total rainfall(mm/a time) and total overland flow(m^3/a time) were recognized high correlation ($r=0.91$, $p < 0.01$) and the equation of the regression line was: $Y=56.8X+434$ and ratio of contribution was 82.8%.