

斜面，ライパリアンゾーンの水分状態と流域スケールの流出の関係

御手洗水試験流域における観測例

誌名	九州大学農学部演習林報告 = Bulletin of the Kyushu University Forest
ISSN	04530284
著者名	東,智洋 井手,淳一郎 大槻,恭一 小川,滋
発行元	九州大学農学部附属演習林
巻/号	86号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-13
発行年月	2005年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



論文

斜面、ライパリアンゾーンの水分状態と流域スケールの流出の関係*
—御手洗水試験流域における観測例—

東 智洋**・井手淳一郎**・大槻 恭一***・小川 滋***

抄 録

流域を構成する斜面、ライパリアンゾーン、流路などの各部位は、それぞれ異なる特性(地形、植生、土壌など)を有し、これらの特性の空間的ばらつきが流出生成を支配している。これらの特性を考慮し、各部位における水文現象を再現するモデルとして分布型流出モデルがあるが、流出生成を支配する要因は明らかにされていない。そこで本研究では、斜面とライパリアンゾーンの水分状態と流域スケールの流出現象の関係を把握することを目的とする。観測は九州大学農学部附属福岡演習林の御手洗水試験流域において行った。降水量、流出量、マトリックポテンシャル、土壌体積含水率、地下水位を観測し、土壌水分状態と流出量との対応関係を調べた結果、ライパリアンゾーンでの地下水位が流域スケールの流出現象を最も強く反映していた。また斜面の土壌水分も、流域スケールの流出生成に大きな役割を果たしていた。斜面の地中浅部(10cm, 20cm)の体積含水率と流出量の関係は強く、高水時には斜面、ライパリアンゾーン、流路が水文学的に連結することが示唆された。

キーワード：斜面水文、水文学的連結、土壌水分、地下水位、御手洗水試験流域

*HIGASHI, T., IDE, J., OTSUKI, K. and OGAWA, S.: Relationship between runoff at the basin scale and soil moisture condition in the slope and riparian zone.

**九州大学大学院生物資源環境科学府森林資源科学専攻

Department of Forest and Forest Products Sciences, Graduate Schools of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Tsubakuro, Sasaguri, Fukuoka 811-2415, JAPAN

***九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門森林生態圏管理学講座

Division of Forest Ecosystem Science and Management, Department of Forest and Forest Products Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Tsubakuro, Sasaguri, Fukuoka 811-2415, JAPAN

1. はじめに

流域を構成する斜面、ライパリアンゾーン、流路などの各部位は、それぞれ異なる特性(地形、植生、土壌など)を有している。近年、これらの部位間の水文学的連結(hydrological coupling)が流域スケールの流出現象に大きな影響を及ぼすことが認識されるようになり、水文学的連結がいつどこで起こるのかを把握することが重要視されるようになった(Sidle *et al.*, 2000; Metcalfe and Buttle, 2001; Buttle *et al.*, 2004)。

流域内で水文学的連結が時間的・空間的に変化する様を表現するモデルに、TOPMODEL, TOPOGSBM, TOPKAPIなどの分布型流出モデルがある。分布型流出モデルの中で最も広く適用されているのは、地表面地形の空間分布を考慮したTOPMODEL (Beven and Kirkby, 1979)である。TOPMODELは物理性を考慮したモデルで、パラメータが少なく、ハイドログラフの再現性も高い。近年、デジタル標高図の利用が容易になったことから、TOPMODELは様々な流域へ適用され(Holko and Lepisto, 1997; Buttle *et al.*, 2004; 田齊ら, 2004), GIS技術や生態モデルと統合する形で広く利用されている(Band *et al.*, 1993; Frankenberger *et al.*, 1999)。しかし、TOPMODELの適用性については慎重に検討する必要がある。例えば、地表面地形の流出現象への影響力は、湿潤時には大きいものの、乾燥時には小さくなり、その他の因子(植生、土地利用など)の影響力が大きくなることが報告されている(Grayson *et al.*, 1997; Erik *et al.*, 2003)。また、地表面地形と基岩面地形が大きく異なる特徴を持つ流域においては、基岩面地形が地表面地形よりも流出に大きな影響を及ぼすことが報告されている(Jim *et al.*, 1997)。最近では土層厚の情報まで考慮に入れた改良型TOPMODELも提案されているが(Saulnier *et al.*, 1997; Pollenq *et al.*, 2003), パラメータ最適化のために土壌水分や地下水位などの分布を観測する必要がある(Jordan, 1994; Lamb *et al.*, 1997; Saulnier *et al.*, 1997)。

このように、現在でも流出現象を支配する決定的な因子は特定されていない。このため、流域のどの部位が流出へ寄与しているのかを把握することが、流出現象の支配因子を特定する上で重要である。そこで本研究では、斜面とライパリアンゾーンにおける土壌水分状態と流域スケールの流出現象の関係を把握することを目的とし、流域スケールの降水量、流出量の観測と同時に、流域内の斜面とライパリアンゾーンにおいてマトリックポテンシャル、土壌体積含水率、地下水位の観測を行った。

2. 試験流域概要および観測方法

2. 1. 試験流域の概要

試験流域は福岡県糟屋郡篠栗町の九州大学農学部附属福岡演習林第4林班(北緯33° 38', 東経130° 32')の御手洗水試験流域である(図1)。主流路長265m, 平均の流域幅179m, 流域面積9.5haの北東-南西に細長い流域である。

本流域の地質は、三郡変成岩類中層部の緑色片岩と蛇紋岩である(日本の地質九州地方編集委員会, 1992, 脇山, 2004)。この岩石類は明瞭な片理や節理を持ち風化しやすいため、その風化土からなる斜面の表層部は脆い。土壌は地表から10~40cmに黒色土層、その下層には粘性の強い黄色土層が存在している。田中ら(1982), 平松ら(1987)によると、表層土

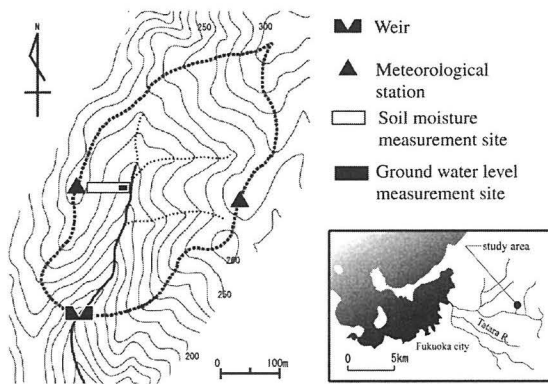


Fig.1 Study site.

図1 試験流域の概況

平均厚は0.251m, 表層の平均飽和透水係数は $3.84 \times 10^{-4} \text{m s}^{-1}$, 平均斜面勾配は0.37である。

植生は, 主流路を挟んだ谷部は樹齢47年のヒノキ人工林で占められ, 中腹から尾根部はヤマモモ・リョウブが優先する常緑・落葉混交二次林である。ヒノキ人工林の大半は間伐されておらず, 下層植生は乏しい。また土砂流失が著しく(久保田, 2004), 地表面の至る所でヒノキの根が露出している姿が観察される。

2. 2. 観測方法

2001年秋より御手洗水試験流域において総合的な水文・気象観測を継続して行っている(図1)。流域の尾根部東西の露場で, 降水量, 日射, 風速, 風向, 温度, 湿度と主要な気象要素の観測を10分間隔で行っている。また流域末端の河道には, 複合断面ゼキ(三角&四角)を設けてあり, 流出量の観測を圧力式水位計により1分間隔で行っている。

2003年の観測結果によると, 当試験流域は福岡市(福岡管区气象台)と比べて月平均気温が年間を通して1~2℃低く, 月降水量は年間を通して多かった(図2)。2003年の年降水量は御手洗水試験流域では1999mm, 福岡市では1601mmであった。

本研究では, 2003年6月から流域内の斜面およびライパリアンゾーンに試験区を設定し, 土壌水分状態を観測した。ライパリアンゾーンとは, 流路・湖・沼などの岸に位置する陸生態系と水生生態系の両方の特徴を持つ場所のことであるが, ライパリアンゾーンを特定する具体的な方法は定められていない。そこで, 本研究では, Buttle *et al.* (2004)や太田(1990)の研究との比較のために, 地形図から谷線を読み取り, その周辺部をライパリアンゾーンと便宜的に定義した。試験区は4つで, 流域中央の河道付近から西尾根に向かって

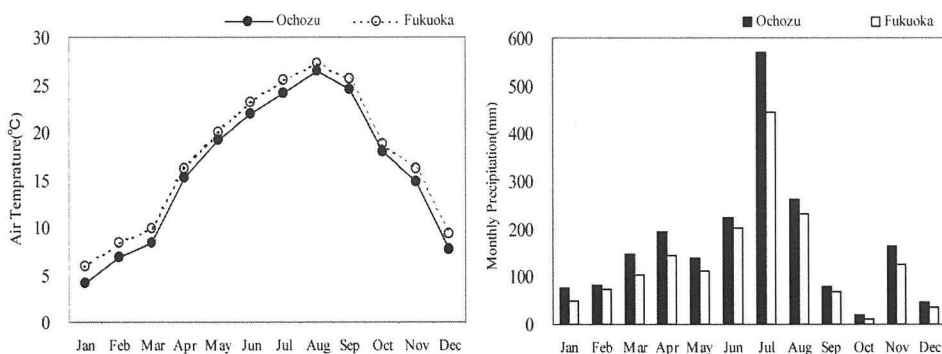


Fig.2 Seasonal fluctuation of monthly mean air temperature and monthly precipitation at the study site and at Fukuoka city in 2003.

図2 試験地と福岡市における月平均気温と月降水量の季節変化(2003年)

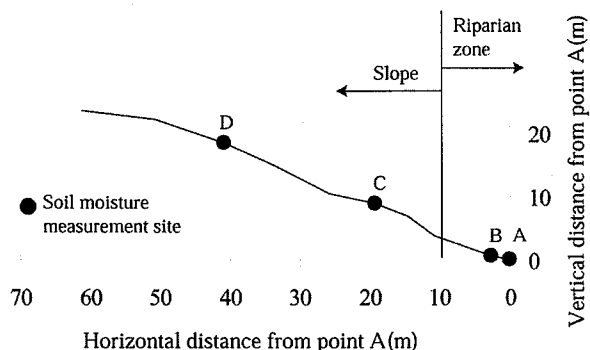


Fig.3 Soil moisture measurement site.

図3 土壌水分の観測サイト

A,B,C,Dの順に並んでいる(図1, 図3)。このうち、河道に近いA,B区はライパリアンゾーンにあり、C,D区は斜面にある。試験区の植生はA,B,C区がヒノキ人工林、D区が常緑・落葉混交二次林である。C区はヒノキ人工林の林縁に相当する。土層厚は、A、B区が80cm程度と厚く、C,D区が30~50cm程度と薄い。全試験区において、マトリックポテンシアルと体積含水率の観測を10分間隔で行った。マトリックポテンシアルの観測は、テンシオメータ(大起理化 DIK-3023)を用いて10cm深、30cm深、50cm深のそれぞれ2箇所で行った。体積含水率の観測は、多深度型FDR式土壌水分計(Sentek EasyAG)を用いて10cm深、20cm深、30cm深、50cm深で行った。

またライパリアンゾーン(A,B)においては、同時に地下水位の観測も10分間隔で行った。地下水位は、基岩の上に生成される水面から基岩面までの水深と定義する。観測は、マトリックポテンシアル計測用のテンシオメータを使用し、ポーラスカップの先端を基岩面に接触させ、その位置での正圧を計測することで行った。地下水位はA区、B区のそれぞれ3箇所測定した。

3. 結 果

3. 1. 降水量, 流出量, 土壌水分状態の観測結果

本研究では、流域のどの部位が流出に寄与しているのかを把握することを目的とする。しかし、1分間隔や10分間隔のデータを用いて、各部位の土壌水分と流出量との対応関係を検討するときは、各部位によって流路へ水が達するまでの時間が異なることを考慮しなければならない。そこで本研究では、データを日単位に変換して扱うことで、この時間差を平均化する。降水量、流出量は日積算値、マトリックポテンシアル(pF)、体積含水率、地下水位のデータは、日平均値を用いる。

図4に、2003年6月から2004年5月の期間に観測された降水量、pF(B-10cm, C-50cm)、体積含水率(A-10cm, C-20cm)、地下水位(A)、流出量を示す。観測期間のうち、2003年6月~8月は月降水量が200mm以上と雨が多く、土壌は湿潤で、流出量が多い。特に2003年7

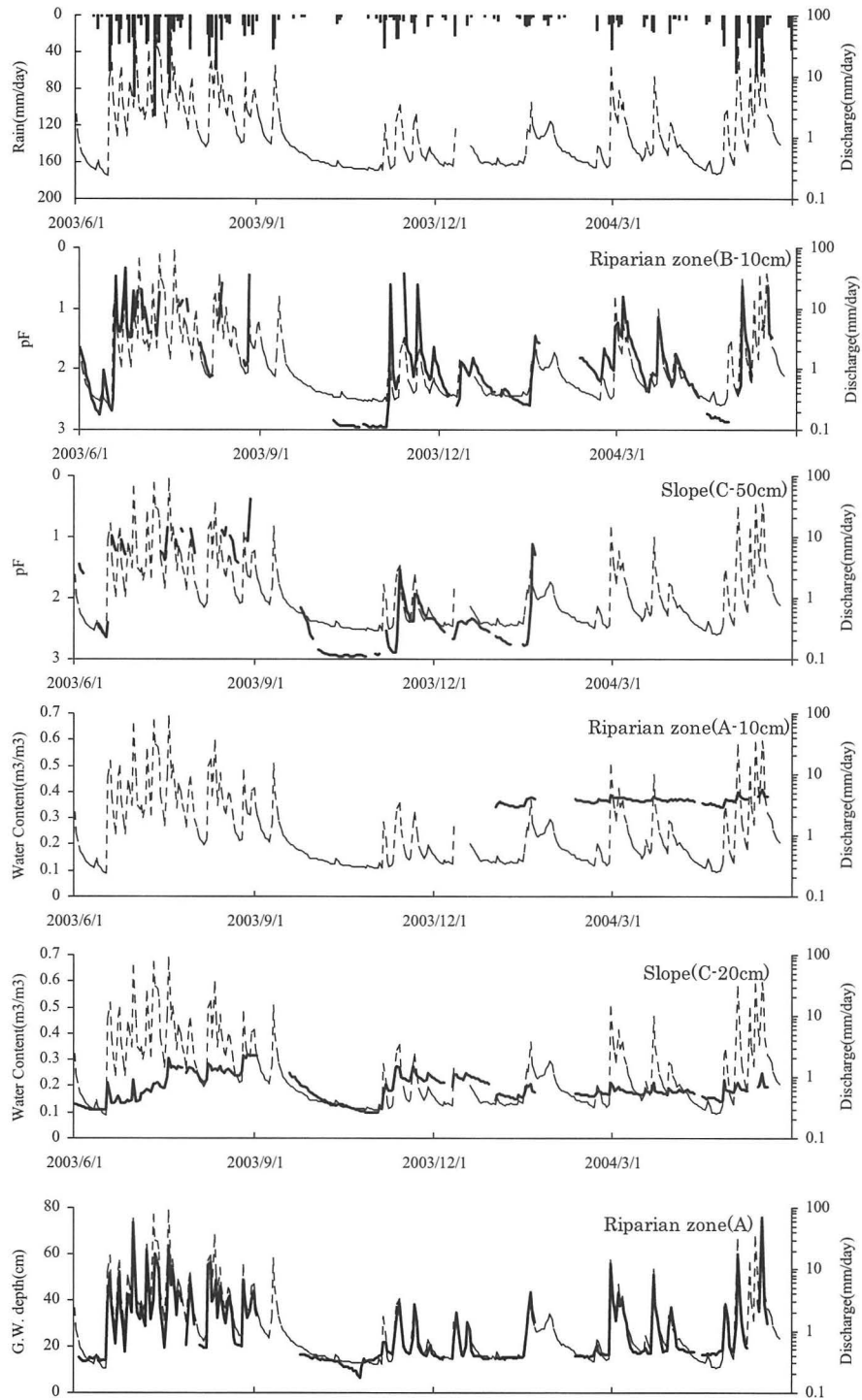


Fig.4 Time series data of precipitation,discharge,soil moisture condition
Broken lines mean discharge data.

図4 降水量, 流出量, 土壌水分状態の時系列変化
各図中の破線は流量を示す

月は雨が多く、月降水量は569mmに達した。逆に、2003年9月～2004年4月までは、月降水量が2003年11月(163mm)を除く全ての月で100mm以下と少なく、土壌は乾燥し、流出量は少なかった。

全観測期間を通して、ハイドログラフは、降雨の発生と流量の増加との間にタイムラグがほとんどない特徴を示した。この特徴は、源頭部の流域において典型的に見られるものである(Burt *et al.*, 1990; Erik *et al.*, 2003)。このとき土壌のpF、体積含水率、地下水位は、試験区によって違いはあるものの、全体的に流出量の時系列変化と類似した変化を示していた。このことは観測が行われた流域内の一斜面やライパリアンゾーンの一部分における水文現象が、流域スケールの流出現象と関係があることを示している。

3. 2. 土壌水分状態と流域スケールの流出量との関係

次に、斜面やライパリアンゾーンにおけるpF、体積含水率、地下水位と流出量(対数値)

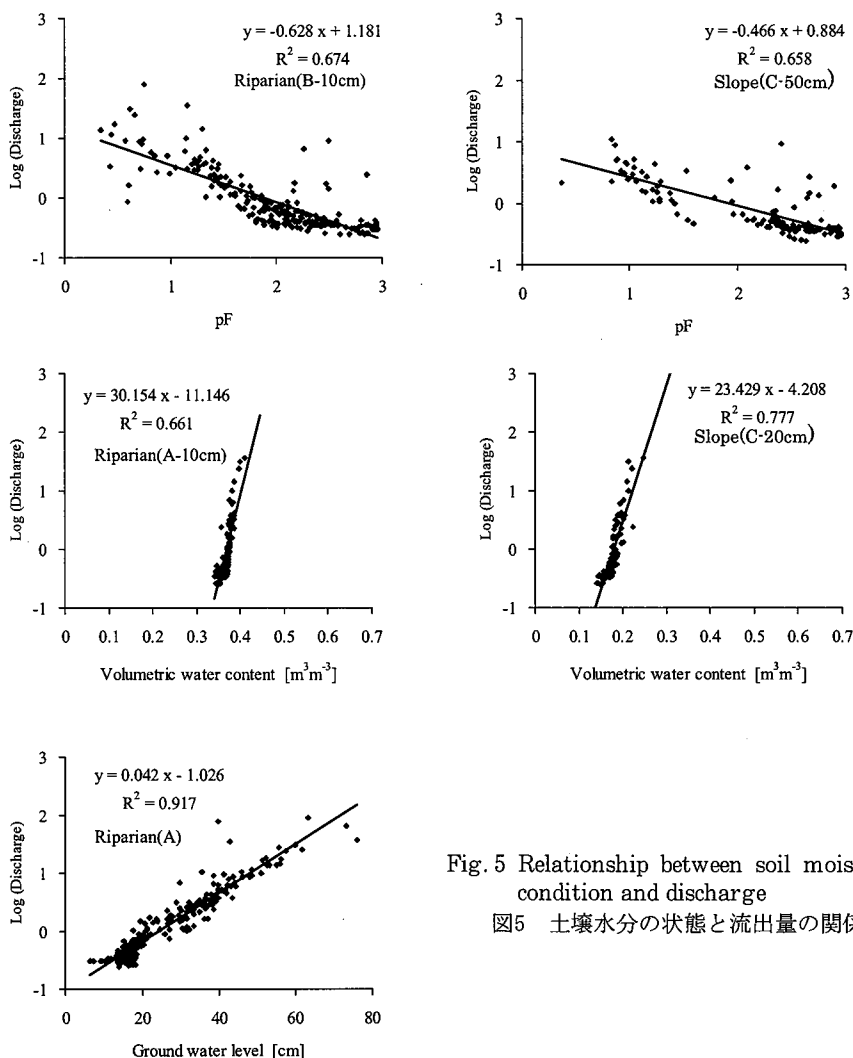


Fig. 5 Relationship between soil moisture condition and discharge

図5 土壌水分の状態と流出量の関係

との関係を調べた(図5). それぞれ線形回帰して決定係数が最も高かったものについてのみ図示する. その他の場所・深度については決定係数のみを別途表(表1-1~1-3)に示す.

pFと流出量に関しては, 斜面(C,D)とライパリアンゾーン(A,B)のどちらにおいても弱い負の相関があったが, pFに対する流量の値には最大1.5オーダーの差があった. 特にpFの大きい範囲では, 流出量との対応関係が悪い.

体積含水率と流出量に関しては, ライパリアンゾーン(A,B)において正の相関があり, 斜面(C,D)において比較的強い正の相関がある.

一方, ライパリアンゾーン(A,B)の6点の地下水位データと流出量との間には非常に強い相関関係が見られた.

表1-1 pFと流出量の関係(決定係数)
Table 1-1 Relationship between soil moisture pF and discharge
(Coefficient of determination).

Depth	A	B	C	D
10cm	0.52	0.67	0.57	0.46
	0.61	0.65	0.56	0.42
30cm	0.58	0.55	0.55	0.39
	0.54	0.65	0.59	0.48
50cm	0.34	0.48	0.66	0.40
	0.41	0.53	0.40	0.58

表1-2 体積含水率と流出量の関係(決定係数)
Table 1-2 Relationship between soil moisture content and discharge
(Coefficient of determination).

Depth	A	B	C	D
10cm	0.66	0.59	0.78	0.72
20cm	0.46	0.53	0.77	0.76
30cm	0.52	0.44	0.74	0.21
50cm	0.33	0.33	0.66	0.54

表1-3 地下水位と流出量の関係(決定係数)
Table 1-3 Relationship between ground water level and discharge
(Coefficient of determination).

A	B
0.92	0.77
0.84	0.85
0.88	0.83

4. 考 察

4. 1. 流出量の支配因子

流域の諸特性(地形、植生、地質など)の空間分布を考慮した分布型流出モデルを考えるには、流域内の各要素からの流出の流域全体の流出に対する寄与率を把握することが重要である。本研究では、斜面、ライパリアンゾーンという要素区分を行い、それぞれの場所での水文現象が流域全体の流出に与える影響について検討した。

観測結果によると、ライパリアンゾーンの地下水位が、流域全体の流出現象を一番強く反映していた(表1)。ライパリアンゾーンの地下水位が流域全体の流出現象を支配していることは、Buttle *et al.*(2004)の研究でも報告されている。彼らは流域内のライパリアンゾーンに沿って数十点の観測井戸を設け、その地下水位から流域のライパリアンゾーン全体を代表する地下水位を推定した。彼らは、降雨イベント前の地下水位が30mm未満のとき、速い流出(Quick Flow)はほとんど観測されなかったことから、ライパリアンゾーンにおける地下水位が流域の流出応答を支配すると論じている。また、大田(1990)もライパリアンゾーンの地下水位と流域の流出現象の間に強い関係があることを示唆している。彼は、ライパリアンゾーン以外も含めた流域内41箇所に観測井戸を設け、その地下水位分布から流域全体の飽和体積 V を推定し、 V と流域流出量との間の強い関係を指摘した。この V の増加の原因は、ほとんどライパリアンゾーンに相当する部分での地下水位の上昇であったことから、大田の事例でも、ライパリアンゾーンの地下水位が、流域全体の流出量を支配していたと考えることができる。

本研究で観測された地下水位は、流域内の一部のライパリアンゾーンにおける観測結果であり、必ずしも流域全体のライパリアンゾーンを代表した現象ではない。しかし、本研究の観測結果の限りでは、ライパリアンゾーンの地下水位が流域全体の流出現象をよく反映するという、Buttle *et al.*や太田と類似した結果が得られた。

本試験流域における降雨時の急な地下水位上昇は、地下水の尾根効果(groundwater ridging effect)と呼ばれる現象を反映していると考えられる。地下水の尾根効果は、ライパリアンゾーンにおいて浅い深度にある毛管水帯が降雨の流入によりすぐに正圧化する結果として生じる地下水の急激な上昇を指す(Gillham, 1984, Sklash *et al.*, 1986)。地下水位が上昇すると、毛管水帯の土壤水は、地下水帯を通過してから流路へと供給されるため、地下水成分が流出量の構成に大きなウェイトを占めることになる。本試験流域のライパリアンゾーンにおける地下水位上昇は、流出量とよく対応していることから、地下水の尾根効果を介して、地下水が流出量に大きな影響を与えていると考えることができる。一般に地下水の尾根効果そのものを詳細に論じるためには、秒単位での検討が必要である。例えばGillham(1984)は地表面に3mmの水を供給すると、15秒で地下水位が30cmも上昇したことを報告している。本研究では、流域内のどの部位が流出に寄与しているのか把握することを目的としているため、短い時間スケールでは地下水の尾根効果を十分に検討していないが、観測結果から、日単位の流出量においても地下水の尾根効果が影響を与えていることが示唆された。

4. 2. 斜面部位における水文現象の流出への寄与

1970年代前半、土壤中に浸透した水は非常に遅い速度で移動するため、斜面部位の水文

現象が流出に与える影響はそれほど大きくないと考えられてきた(Freeze, 1972). しかし, 1970年代後半以降, 斜面部位の水文現象が洪水流出へ大きな影響を与えることが報告されている(McGlynn *et al.*, 2002). 斜面部位で観測された地中流の流束は $0.02\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ に達したものもあり, 斜面部位の流出への寄与が大きいことが示された(Mosley, 1979). また, 同位体を用いたハイドログラフ分離の研究からも, 斜面部位の地中流が流出に与える影響が大きいという結果が得られている(Sklash *et al.*, 1986). これは, 斜面部位の土壌中にパイプなど何らかの速い流出経路が存在するためと考えられている(Carey and Woo, 2000, Sidle *et al.*, 2000).

そこで本研究でも斜面における水文現象が流域全体の流出生成に果たす役割を検討した. 表1-1および表1-2によると, 体積含水率の方がpFよりも流出量との対応関係(線形関係)が良かった. そこで以下の考察では体積含水率について検討する. 表1-2によると, 表層土壌の体積含水率と流出量の関係は, ライパリアンゾーン(A,B)においてよりも斜面(C,D)において強かった. この結果は, 田中ら(1982)が行った観測結果と一致していた. 彼らは, 本試験流域の西向き斜面においてマトリックポテンシャルの観測を行った. 彼らの観測によると, 斜面部位(10cm深, 20cm深)における土壌が降雨前に乾燥している時は流出量が小さく, 湿潤な時は流出量が大きいという結果を得ている. 一方, ライパリアンゾーン(田中ら(1982)は斜面尻と称している)における土壌は常に湿潤であり, 流出量との間に明瞭な関係は見られていない. このように, 本試験流域内の異なる2斜面において, 土壌水分と流出量との対応関係に関する同じ知見が確認された.

本研究で観測された斜面部位の体積含水率は, 流域内の1斜面における観測結果であり, 必ずしも流域全体の斜面を代表した現象ではない. 流域内の斜面は一樣ではないため, そこで生じる水文現象も斜面によって異なる. 例えばWoods *et al.*(1996)は, 同じ流域内の30斜面における観測結果から, 斜面によって流出への寄与が異なることを示している. しかし, Buttle *et al.*(2004)は, 同じ流域内の5斜面の観測結果から, 斜面の流出への寄与は土層厚に依存すると報告している. 彼らは, 平均土層厚が0.2m以下の「薄い斜面」の場合, 斜面部位の流出への寄与は小さく, 0.2m以上の「厚い斜面」の場合のみ寄与が大きいという結果を得ている. 土層厚が薄い場合, 斜面は小さな降雨イベントですぐ湿潤になるが, ライパリアンゾーンが乾燥しているため, 流路との水文学的連結が途切れる. このため土層厚の薄い斜面では斜面部位の水の増加が直接に流出量に寄与しないと考えられる. 本研究で観測が行われた斜面の土層厚は0.3~0.5m以上であり, Buttleらの基準では「厚い斜面」に分類さる. Buttle *et al.*(2004)と同様に, 斜面の土壌水分は, 流出量との対応関係が良いことが確認された. 土層厚の厚い斜面では, 表層土壌の体積含水率が飽和近くに増加した時, その下方斜面の土壌も飽和しており, 表層土壌中の水が斜面からライパリアンゾーン, 流路まで水文学的に連結すると仮定できる. 本試験流域において斜面部位の体積含水率と流域全体の流出量は対応関係があることから, この連結で斜面から流路への水輸送速度が増加し, 斜面部位における水文現象が流出量に大きな影響を与えたと考えられる. ライパリアンゾーンにおける体積含水率と流域全体の流出量の関係が弱かったのは, この部分が流出にあまり寄与しないからではなく, 低水時から常に湿潤であるため, 高水時と低水時の体積含水率の差が小さいためであると考えられる.

5. おわりに

本研究では、斜面やライパリアンゾーンの水分状態と流域スケールの流出現象の関係を把握するために、降水量、流出量、マトリックポテンシャル、土壌体積含水率、地下水位を現地観測し、土壌中の水分状態と流出量との対応関係を調べた。その結果以下の知見が得られた。

- (寅) ライパリアンゾーンや斜面での水文現象の中で、ライパリアンゾーンの地下水位が流域スケールの流出現象を一番強く支配していた。
- (名) 斜面浅部(10cm,20cm)の体積含水率と流出量の関係は強かった。降雨時に土壌はライパリアンゾーンから斜面へ向かって飽和していくと仮定すると、斜面部位の土壌が飽和に達したとき、斜面はライパリアンゾーン、流路と水文学的に連結し、流出量に大きな影響を与えるものと考えられた。
- (社) ライパリアンゾーンの体積含水率と流出量の関係は弱かった。これは、ライパリアンゾーンが低水時から常に湿潤であるため、高水時と低水時の体積含水率の差が小さいためであると考えられた。

謝 辞

本研究の一部は、平成14～16年度科学研究費補助金（基盤研究B，課題番号14360088）によるものである。本研究の遂行にあたり、九州大学大学院生物資源環境科学府森林生態圏管理学講座流域環境制御学研究室の皆様、特に藤山洋介君には現地観測の立ち上げ時からデータ回収および測器の保守管理に至るまで様々なご協力を頂いた。ここに記して謝意を申し上げます。

引用文献

- Band, L. E., Patterson, P., Nemani, R., Running, S. W. (1993)** : Forest ecosystem processes at the watershed scale: incorporating hillslope hydrology. *Agr.For. Meteorol.* **63** : 93-126
- Beven, K. J. and Kirkby, M. J. (1979)** : A physically-based variable contributing area model of catchment hydrology. *Hydrol.Sci.Bull.* **24** : 43-69
- Buttle, J. M., Dillon, P. J. and Eerkes, G. R. (2004)** : Hydrologic coupling of slopes, riparian zones and streams: an example from the Canadian Shield. *J. Hydrol.* **287** : 161-177
- Carey, S. K. and Woo, M. K. (2000)** : The role of soil pipes as a slope runoff mechanism, Subarctic Yukon, Canada. *J.Hydrol.* **233** : 206-222
- Meyles, E., Williams, A., Ternan, L. and Dowd, J. (2003)** : Runoff generation in relation to soil moisture patterns in a small Dartmoor catchment, Southwest England. *Hydrol.Process.* **17** : 251-264
- Frankenberger, J. R., Brooks, E. S., Walter, M. T., Walter, M. F., Steenhuis, T. S. (1999)** : A GIS-based variable source area hydrology model. *Hydrol.Process.* **13** : 805-822
- Freer, J., Mcdonell, J., Beven, K. J., Brammer, D., Burns, D., Hooper, R. P. and Kendal, C. (1997)** : Topographic controls on subsurface storm flow at the hillslope scale for two hydrologically distinct small catchments. *Hydrol.Process.* **11** : 1347-1352
- Freeze, R. A. (1972)** : Role of subsurface flow in generating surface runoff: 1 Base flow contributions to channel flow. *Water Resour.Res.* **8** : 609-623
- Gillham, R. W. (1984)** : The capillary fringe and its effect on water-table response. *J. Hydrol.* **67** : 307-324
- Grayson, R. B., Western, A. W. and Chiew, F. H. S. (1997)** : Preferred states in spatial soil moisture patterns: Local and nonlocal controls. *Water Resour.Res.* **33** (12) : 2897-2908
- 平松和昭・田中宏平・四ヶ所四男美・森健(1987)** : 山腹斜面特性量の確率統計的特性. 九大農学芸誌. **41** : 35-45
- Holko, L. and Lepisto, A. (1997)** : Modelling the hydrological behaviour of a mountain catchment using TOPMODEL. *J.Hydrol.* **196** : 361-377
- Jordan, J. P. (1994)** : Spatial and temporal variability of stormflow generation processes on a Swiss catchment. *J.Hydrol.* **153** : 357-382
- 久保田哲也(2004)** : 山地小流域(御手洗水川)からの土砂流出特性<中間報告2004July>. <http://ffpsc.agr.kyushu-u.ac.jp/control/Ochozu.html>
- Lamb, R., Beven, K. J. and Myrabo, S. (1997)** : Discharge and water table predictions using a generalized TOPMODEL formulation. *Hydrol Process.* **11** : 1145-1167
- McGlynn, B. L., McDonnell, J. J. and Brammer, D. D. (2002)** : A review of the

- evolving perceptual model of hillslope flowpaths at the Maimai catchments, New Zealand. *J. Hydrol.* **257** : 1-26
- Metcalfe, R. A. and Buttle, J. M. (2001)** : Soil portioning and surface store controls on spring runoff from a boreal forest peatland basin in north-central Manitoba, Canada. *Hydrol. Process.* **15** : 2305-2324
- Mosley, M. P. (1979)** : Streamflow generation in a forested watershed, New Zealand. *Water Resour. Res.* **15** : 795-806
- 日本の地質九州地方編集委員会(1992)** : 日本の地質(9)日本の地質. 共立出版, 東京 : 7-8
- 太田猛彦(1990)** : 急勾配斜面における雨水流出機構. *日林誌.* **72** : 201-207
- Pollenq, J., Kalma, J., Boulet, G., Saulnier, G. M., Wooldridge, S., Kerr, Y. and Chehbouni, A (2003)** : A disaggregation scheme for soil moisture based on topography and soil depth. *J. Hydrol.* **276** : 112-127
- Saulier, G. M., Beven, K. J. and Obled, C. (1997)** : Including spatially variable effective soil depth in TOPMODEL. *J. Hydrol.* **202** : 158-172
- Sidle, R. C., Tsuboyama, Y., Noguchi, S., Hosoda, I., Fujieda, M. and Shimizu, T. (2000)** : Stormflow generation in steep forested headwaters : a linked hydrogeomorphic paradigm. *Hydrol Process.* **14** : 369-385
- Sklash, M. G., Stewart, M. K. and Pearce, A. J. (1986)** : Storm runoff generation in humid headwater catchments. 2. A case study of hillslope and low-order stream response. *Water Resour. Res.* **22** : 1273-1282
- 田齊秀章・平松和昭・森牧人・四ヶ所四男美(2004)** : TOPMODELによる山地小流域の長期流出解析. *九大農学芸誌.* **59** : 173-183
- 田中宏平・四ヶ所四男美・瀬口昌洋(1982)** : 山地小流域の土壌水分と流出. *京大防災研年報.* **25** : 195-205
- 脇山義史(2004)** : 山地流域における粘土鉱物トレーサー実験のための予察的研究. 九州大学土壌学研究室卒業論文
- Woods, R. A. and Rowe, L. K. (1997)** : The changing spatial variability of subsurface flow across a hillside. *J. hydrol(NW).* **35** : 51-86

(2004年11月18日受付 ; 2004年12月20日受理)

Summary

Landscape elements (slope, riparian zone) of watersheds have their own characteristics such as topography, soil, vegetation, etc. Therefore the spatial variation of these characteristics controls the runoff generation. Distributed runoff models use some of these characteristics and simulate the runoff by evaluating the hydrological phenomena at each landscape element grid. However, the main factor controlling the runoff generation is still not well understood. Thus the objective of this study is to understand the relationship between runoff at the basin scale and soil moisture condition in the slope as well as riparian zone. Rainfall, discharge, matric potential, soil water content, groundwater level were observed at Ochozu experimental watershed of Kyushu University Forest in Fukuoka, Japan. Ground water level in the riparian zone was a first-order control on the runoff phenomenon at the basin scale. Hydrologic phenomena in the slope elements also play an important role in the runoff generation. The soil moisture contents of the upper subsurface(10cm, 20cm from the ground surface) in the slope relate strongly to the discharge. These results suggest that hydrologic coupling among the slope, the riparian zone and the stream occurred during rain events.

keywords: hillslope hydrology, hydrologic coupling, soil moisture, groundwater level, Ochozu experimental watershed