

## 4-2 林冠構造が林地の水分・熱収支環境に及ぼす影響

服部重昭、田中隆文（名古屋大学）

### 1. 研究の目的と概要

トヨタフォレストヒルズ内の水文試験地における遮断蒸発、蒸散、斜面水文、流出などの観測に基づき、1) 時空間的な収支解析・動態解析による特性解明、2) 里山の水分・熱収支環境に関する機能評価のためのモデル構築、3) 里山の林冠構造の実態を数的に表現する新しい方法の提案、以上の3項目を目標として、研究を進めた。本稿ではその研究成果の概略を報告するとともに、特に、林冠構造の水分・熱収支環境に及ぼす影響を定量的に評価する手法の一つとして活用が期待されるバルク輸送係数の方位依存性・季節変動性について詳述する。

成果の概略は次のとおりである。

- 1) 斜面上下部熱収支の比較を実現するため、従来から観測を進めてきた斜面下部のタワー1号基に加え、斜面中央部のタワー2号基において観測を開始した。観測項目は気温・風向・風速・顕熱フラックスと林冠表面温度であり、斜面上下部熱収支の比較解析を進めた。データの解析を進めた結果、バルク輸送係数の方位依存性・季節変動性が明らかとなった。このことは林冠構造の水分・熱収支環境に及ぼす影響を定量的に評価する手法の一つとして同係数を活用できることを示唆するものである。
- 2) 土壌水分・地下水位の多地点連続観測結果を踏まえ、分布型水文モデルの基本構造の決定を進めた。不飽和側方流のメカニズムをモデルの基本構造に組み込み、渇水期の適合性の改善に効果があった。この分布型水文モデルの性能について流域内部での流量実測値を用い検証を進めた結果、斜面レベルから小流域レベルに至る多スケールでの適用性を確認できた。
- 3) 昨年度開発した林冠構造測定装置を活用し、着葉期の林冠構造の測定を実施し、林冠の厚さや傾斜などの3次元構造情報を得た。これを用いて、LAI 間接測定法の問題点を定量的に検討し、LAI 測定値の補正方法を提案した。また、従来の LAI（葉面積指数）間接測定原理が放射状に展開した積算計算を行っていた点に着目し、これに替えて曲線状の積算計算を導入することにより実用的な広域化方針を提示した。

### 2. フェーズ I の成果

#### 2-1. 目的及び目標

従来の乱流変動観測の多くは平坦地の一様な植生条件で行われてきた。里山（都市近郊林）における蒸発散過程に関わる乱流変動には、山地の起伏の影響と複雑な構造をもつ林冠の影響の二つの可能性を指摘できる。前者の山地の起伏の影響は風向により異なると考えられ、後者の林冠構造の影響は特に落葉樹が優勢の場合には季節により異なると考えられる。そこで里山落葉広葉樹林で乱流変動の観測を行い、これらの影響を検討した。

#### 2-2. 方法及び結果

##### 2-2-1. 観測方法

観測は愛知県豊田市のフォレストヒルズ内の微気象測定タワー1号基、2号基で行った。流域下部

に位置する 1 号基ではタワーの最上層に設置した 3 次元超音波風速温度計 (Kaijo 製, DAT600) とタワー最上層と林冠高付近に乾湿球温度計 (英弘製, MH020) を連続稼働し 10Hz でデータをパソコン HD にベタ書きした。

2 号機は流域中央部に設置されており平成 14 年度から観測を開始した。タワーの最上層に設置した 3 次元超音波風速温度計 (Kaijo 製, DAT600) を、タワー 8 段目には林冠上面に照準を合わせた放射隔測温度計 (Tasco 製, THI) 2 台を設置し、連続稼働し 10Hz でデータをパソコン HD にベタ書きした。



写真 1. 微気象観測タワー 2 号基

### 2-2-2. 計算方法

超音波風速計で測定される 3 次元風速データは、平坦地でない地形上での乱流観測では鉛直風速の平均値が 0 となるように軸回転の変換を要するという Kaimal (1988) の提案に基づき、まず主風方向に水平面内で回転し次に鉛直平面内で軸回転した。この回転処理後、平均化時間は 15 分として乱流変動計算式(1)式から顕熱フラックスを求めた。

$$\begin{aligned}
H &= \rho C_p \overline{WT} = \rho C_p \overline{(\overline{W} + \overline{w'})(\overline{T} + \overline{t'})} \\
&= \rho C_p \overline{(\overline{WT} + \overline{w'T} + \overline{Wt'} + \overline{w't'})} \\
&= \rho C_p (\overline{W} \times \overline{T} + \overline{w'} \times \overline{T} + \overline{W} \times \overline{t'} + \overline{w't'}) \\
&= \rho C_p \overline{W} \times \overline{T} + \rho C_p \overline{w't'} \\
H &= \rho C_p \overline{w't'} \tag{1}
\end{aligned}$$

バルク法では顕熱フラックスは(2)式で表される。

$$H = CH \times \{\rho C_p U (T_s - T_a)\} \tag{2}$$

CHは顕熱のバルク輸送係数であり、その値は(1)、(2)式から算出される(3)式から求められる。

$$CH = H / \{\rho C_p U (T_s - T_a)\} \tag{3}$$

同様に、運動量フラックスは(4)式で求められ、運動量のバルク輸送係数CMは(5)式で求められる。

$$\tau = -\rho \overline{u'w'} = \rho u_*^2 \tag{4}$$

$$CM = \tau / \{\rho U^2\} \tag{5}$$

### 2-2-3. 主風方向と軸回転角

図-1はタワー1号基における主風方向と軸回転角の関係を示したものであり、○印が着葉期(9月)、×印が落葉期(12月)を示す。両時期とも主風はほぼ地表面の接峰面に平行に吹いていることがわかる。

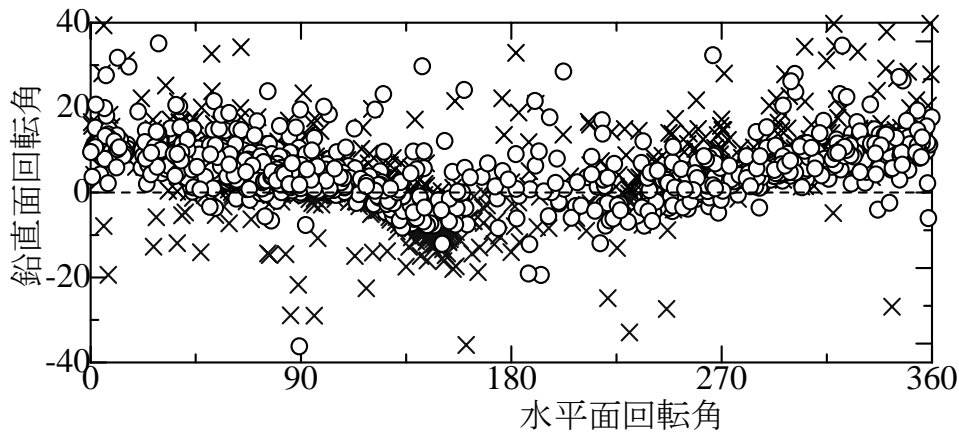


図-1 タワー1号基における着葉期と落葉期における軸の回転角

#### 2-2-4. 顕熱フラックスと林冠表面温度の時系列変動

タワー2号基8段目に林冠上面に照準を合わせて設置した放射隔測温度計により観測された林冠表面温度の時系列変動を2002年6月を例として図-2(b)に示す。昼は20度台後半、夜は10度台前半という日周期が顕著ではあるが日々の変動も激しい。これは晴れ・曇り・雨などや強風・弱風・微風などの日々の天候状況の影響が強いためである。同図(a)に乱流変動法で観測した顕熱フラックスの値の変動を示す。同様の理由でこれも日内変動が大きく、かつ日々の傾向のばらつきも大きい。この両者から計算される空気力学的抵抗  $R_a$  の変動を同図(c)に示すが、天候の影響はかなり相殺されてくる。さらに風速の影響を除きバルク輸送係数(顕熱, 同図(d))を得る。

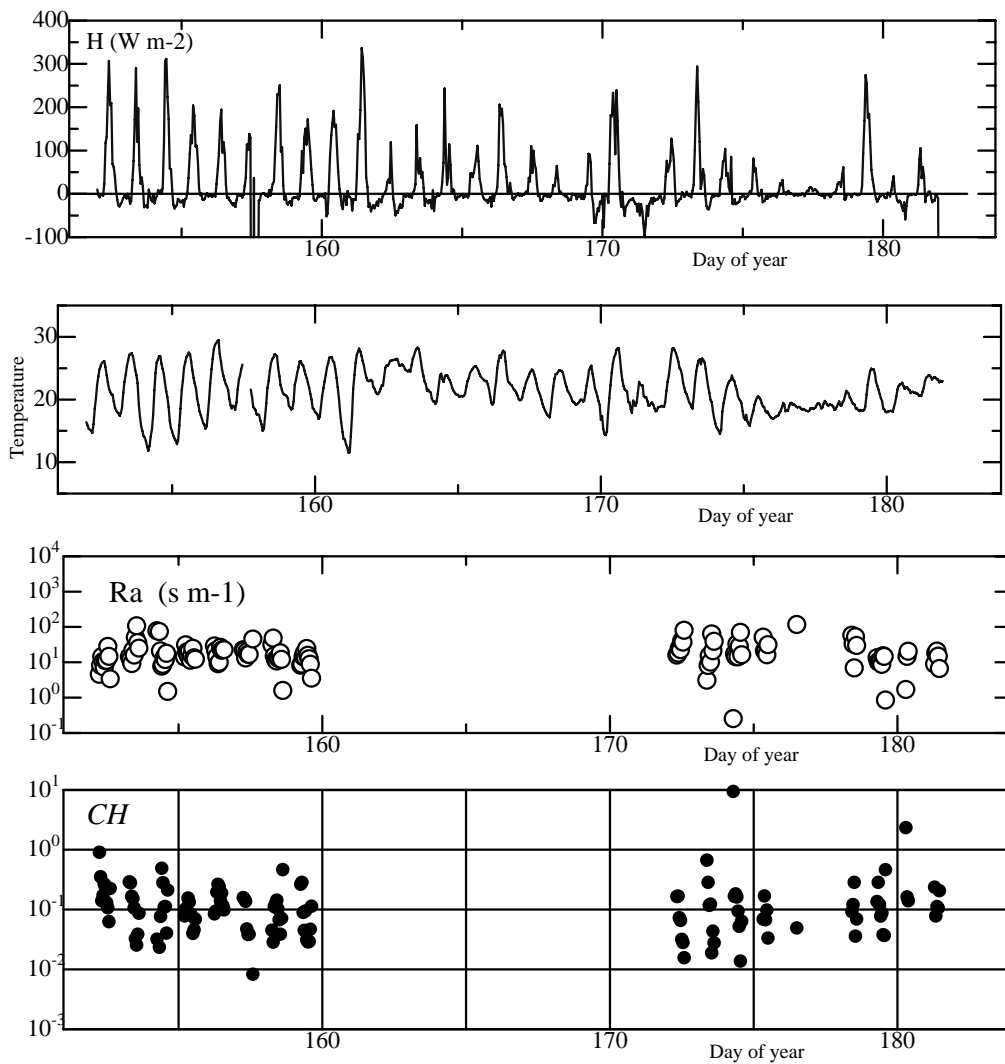


図-2 観測タワー2号基における微気象の時系列変動

- (a) 乱流変動法で観測した顕熱フラックスの変動
- (b) 放射隔測温度計により観測された林冠表面温度の変動
- (c) 空気力学的抵抗  $R_a$  の変動
- (d) バルク輸送係数

## 2-3. 考察及びフェーズ I のまとめ

### 2-3-1. 顕熱のバルク係数と運動量のバルク係数

バルク輸送係数は顕熱・潜熱・運動量についてそれぞれ定義され、顕熱・潜熱・運動量の乱流拡散係数の差に対応した異なる値とされる。本研究における観測地のような落葉広葉樹林においては着葉期・落葉期の林冠の構造変化の差の影響を指摘できる。着葉期においては顕熱・潜熱・運動量のいずれのフラックスに関しても林冠最上面が強く機能していても、落葉期においては林冠内のどの高さまで進入しうるのかはそれぞれの特性の影響をうけると考えられる。タワー1号基で取得したデータを図-3に示す。着葉期・落葉期とも顕熱のバルク係数  $CH$  のほうが、運動量のバルク係数  $CM$  より大きい傾向があったが、落葉期のほうがそのばらつきはやや大きかった。

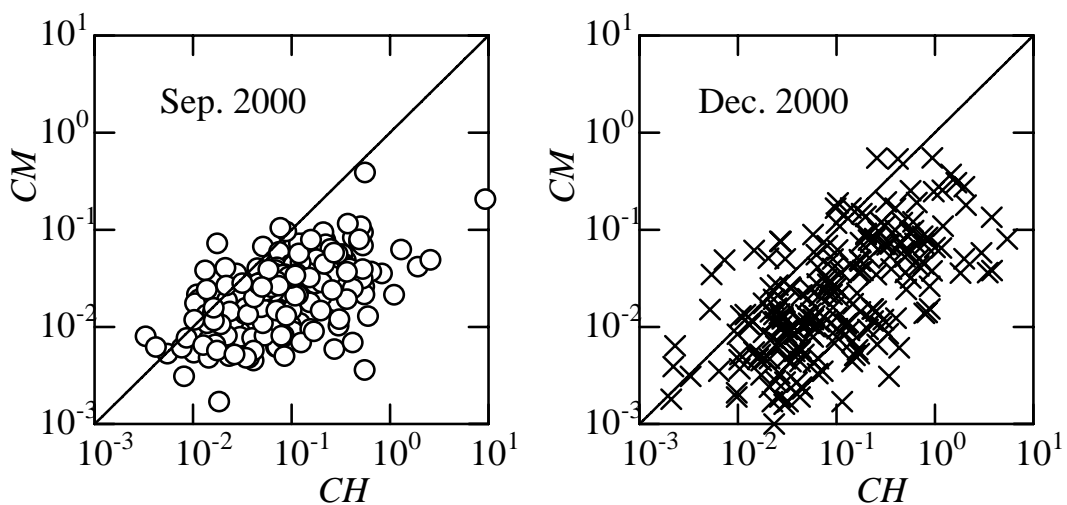


図-3 顕熱と運動量のバルク係数

### 2-3-2. バルク係数の風向依存性

図-4 (a) はタワー2号基近辺の林冠表面温度と気温の差 ( $TS-T_0$ ) を横軸にとり顕熱フラックス (縦軸) との関係を見たものである。明瞭な一価関係が認められるが、直線関係ではなく非線形性を示している。同図 (b) はタワー2号基における6月の主風向と軸回転角の関係であるが1号基の結果を示した図-1と同様、特定方位での吹きあがり傾向を示しており、図5 (b) の8月、図6 (b) の10月ともその方位に違いはなく地形的な吹きあがり現象をとらえたものと解釈できる。図-4 (c) は6月における顕熱に関するバルク輸送係数の風向依存性を示す。同図 (b) の特定方位での吹きあがり傾向と逆相関の傾向がみられる。しかし図5 (c) の8月、図6 (c) の10月と比較するとその方位の位相は共通ではなく季節依存性を無視できない。地形そのものは季節変化していないので、この原因は林冠表面の形状の変化、あるいは林冠内部への顕熱交換面の侵入深の変化を示唆するものと考えられる。

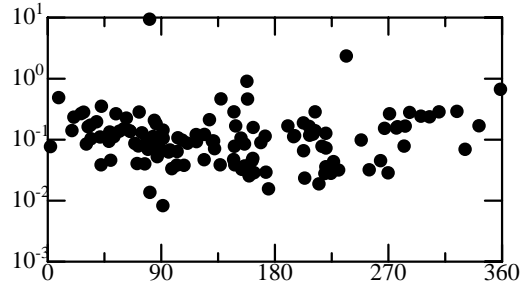
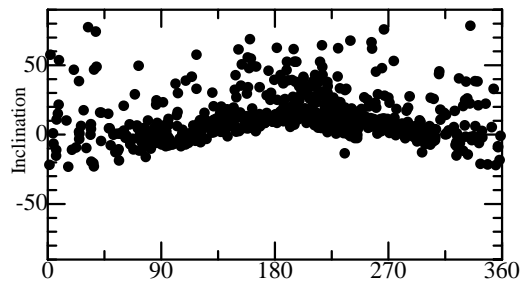
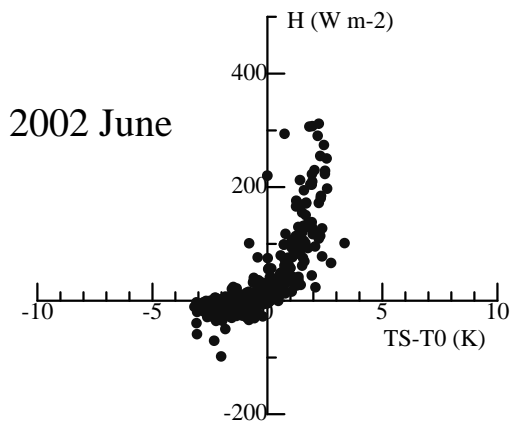


図4 風速回転角とバルク輸送係の風向依存性 (2002年6月)

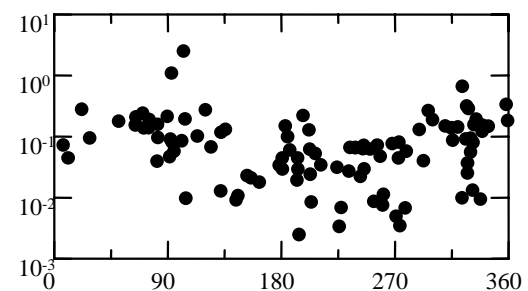
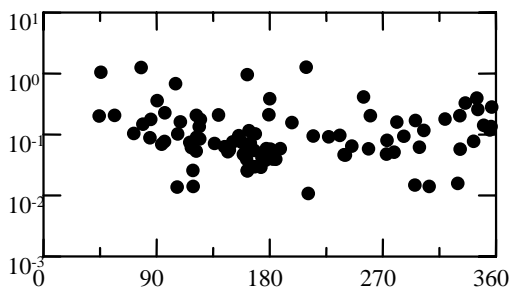
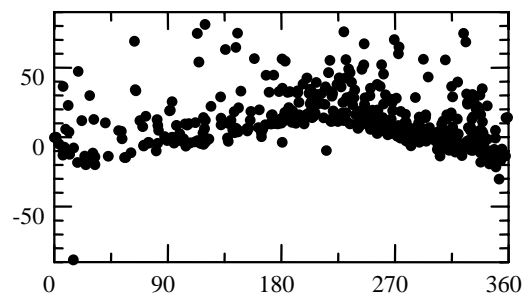
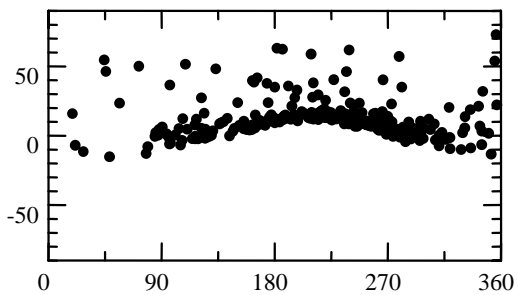
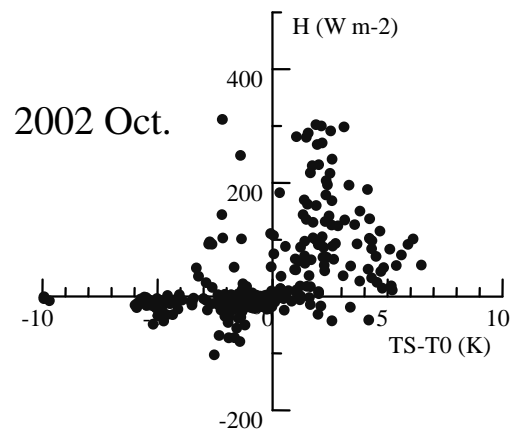
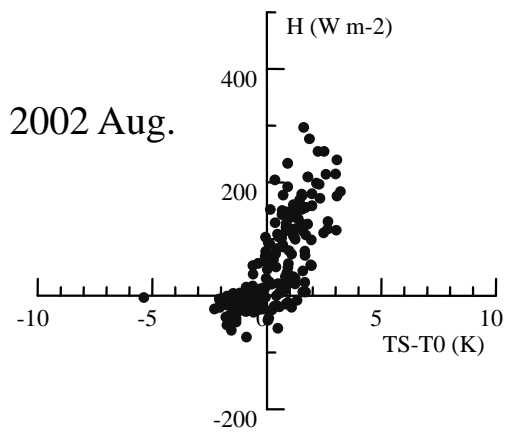


図5 風速回転角とバルク輸送係数の風向依存性 (2002年8月)

図6 風速回転角とバルク輸送係数の風向依存性 (2002年10月)

### 2-3-3. 総括

バルク輸送係数の方位依存性・季節変動性が明らかとなり、林冠構造の水分・熱収支環境に及ぼす影響を定量的に評価する手法の一つとして同係数を活用できることが示唆された意義は大きい。これを踏まえ平成15年度は 林冠構造が遮断蒸発・蒸散・熱収支・斜面水収支などの林地の水分・熱収支環境に及ぼす影響のメカニズムとその時空間スケールを明らかにすることを目標とする。林冠構造・遮断蒸発・蒸散・熱収支・斜面水収支などに関し測定・収集したデータを用い、これらがどのようなメカニズムで生起し相互に関わっているのかを明らかにする。時空間スケールを明示した議論を深めることにより汎用性の高いモデル化を進める。具体的な研究計画は、以下の通りである。

- 1) 林冠構造の把握：林冠構造の季節変化および空間的分布的な特性を詳細な現地測定に基づいて把握する。
- 2) 遮断蒸発・蒸散・熱収支の特性の把握：水収支・熱収支各項目の相互作用の生起条件と一般気象データとの関連を解析し各特性の時空間的な影響圏の推定を行う。
- 3) 分布型植生水文モデルへの発展。前年度開発した分布型水文モデルの地上部サブモデルに林冠構造・遮断蒸発・蒸散・熱収支のメカニズムを組み込むことにより、分布型植生水文モデルとして発展させ、林地の水分・熱収支環境の時空間的な解析を推進する。

## 3. フェーズIIの成果

### 3-1. 目的及び目標

山地流域において、地質、地形、気象、植生、土地利用等の相互作用によって、土層の空間分布が形成される。一般に、山地流域の土層厚分布は斜面方向に不均質である。特に、元はげ山であった里山斜面においては、かつて土砂移動が激しかったため、土層厚の空間分布不均質性が大きいと思われる。そこで、この土層厚の空間分布不均質性が、流出や土壌水分の時空間変動に影響を及ぼしていると考えられる。そこで本研究では、林冠構造が林地の水分・熱収支環境に及ぼす影響を探るため、詳細な水文観測と土壌調査が行われた里山斜面において分布型流出モデルを構築、適用し、土層厚の空間分布不均質性が、流出や土壌水分の動態に及ぼす影響を定量的に理解することを目的とした。

### 3-2. 方法及び結果

#### 3-2-1. 観測地および観測方法

観測は、愛知県豊田市内にあるT社の社有林トヨタフォレストヒルズ内の小流域(1.5ha:1.5ha流域と呼ぶ)とその内部斜面(0.3ha:集中観測斜面と呼ぶ)にて行った(図-7)。地質は主として粗粒の伊奈川花崗岩である。

山腹斜面の土層構造を調べるため、集中観測斜面にて簡易貫入試験器と検土杖による測定を101地点で行い、残積土帯と崩積土帯とを判別した(図-8)。各土層帯でサンプルを採取し、加圧板法による水分特性試験および飽和透水試験を行い、土壌物理特性を把握した。さらに、土層内の水移動や水分状態を理解するため、テンシオメータを集中観測斜面内の20地点(崩積土帯16地点、残積土帯4地点)に、20cm、40cm、60cm、100cmの4深度を基本として設置した。測定は5分間隔で自記記録させた。集中観測斜面下流部にフラックス測定ライン(集水面積0.2ha)を設け、土層中を移動する水分フラックス(0.2ha流出量と呼ぶ)を、埋設された各テンシオメータから測定した。

1.5ha流域の流出量(1.5ha流出量と呼ぶ)は、流域末端の90°三角ノッチ量水堰に設けた自記記録計から水位を読み取り流量換算した。1.5ha流域内の右支と左支の合流点において、河川流が発生して

おり流域末端まで達している。この合流点にパーシャルフリュームを設置して（集水面積0.9ha）、流出量（0.9ha流出量と呼ぶ）を自記記録させた。つまり、1.5ha流域には、入れ子構造をした流量観測が行われている。また、1.5ha流域内には地上高約20mのタワーが設置されており、各種気象データが測定されている。林外降水量は、1.5ha流域から南西約500m離れた開空地に設置された0.5mm転倒マス式雨量計によって、1時間間隔で自記記録された。2001年は1233mm year<sup>-1</sup>、2002年は1164mm year<sup>-1</sup>であった。

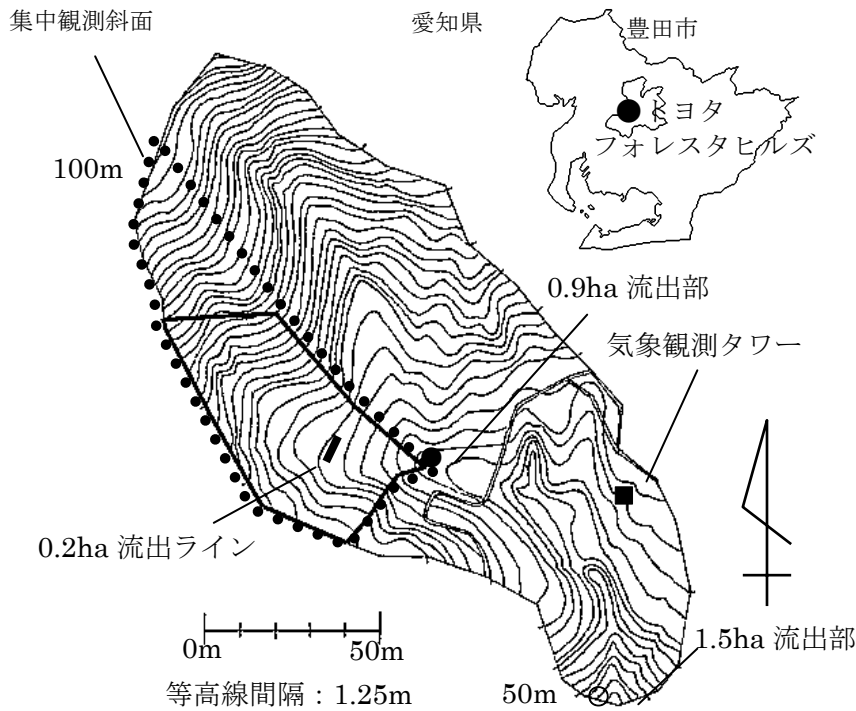


図-7. 試験流域の地形と観測システム

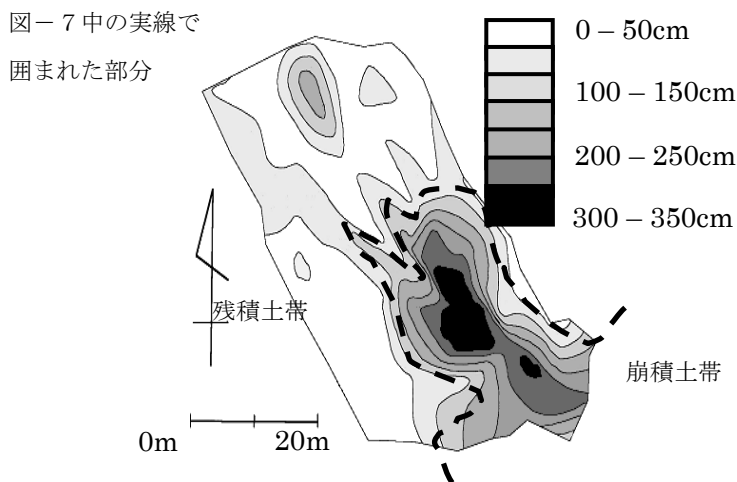


図-8. 集中観測斜面の土層厚分布



### 3-2-2. 観測結果

山腹斜面における土層構造の空間分布は、複雑であり均質でない。図-2 より、透水性が大きく水分保持能力が小さい残積土（図-9、表-1）は斜面上部に薄く存在し、その土層厚分布は面的にはほぼ均質である。一方、水分保持能力が大きい崩積土（図-9、表-1）は斜面下部に厚く堆積していて、その土層厚分布は面的に非常に不均質である。

また、図-10 より、土壌水分動態も斜面内で様でない。降雨時の土壌水分量は、斜面上部の残積土帯では急激に増加し、その後速やかに減少する。一方、斜面下部の崩積土帯では、土壌水分量は概して残積土帯より多く、増加と減少は緩慢である。

さらに、図-11 より、流出量の時空間変動も同一流域内で様でない。降雨に対する流出応答として、河川流を含まず表層流である0.2ha 流出量は、増減が緩やかで、ピーク流量が少なく基底流量が多い。一方、河川流である0.9ha 流出量と1.5ha 流出量は、増減が急で、ピーク流量が多く基底流量が少ない。ここで、同じ流出成分である0.9ha 流出量と1.5ha 流出量とを比較する。通常、1.5ha 流出量の方が多いが、7月下旬から9月にかけての乾燥時、0.9ha 流出量の方が多くなるという流出量の逆転が起こる。同一流域内でも、流出成分が異なる場合はもちろん、流出成分が同じ場合でも、流出特性が異なる。流域内部の流出や土壌水分の時空間変動に影響を与える要因の一つに、土層厚の空間分布不均質性が考えられる。次に、分布型流出モデルを適用し、それらを考察する。

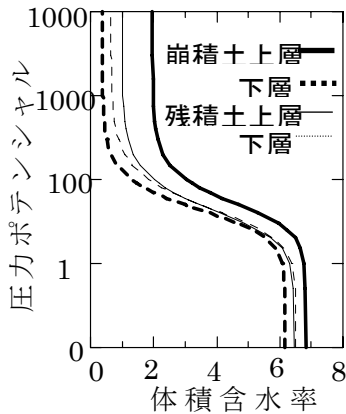


図-9. 各土層の水分特性曲線

表-1. 各土層の飽和透水係数

飽和透水係数 (cm)	
崩積土 上層(0 - 50 cm)	$1.23 \times 10^3$
崩積土 下層(50 - 100)	$3.50 \times 10^3$
残積土 上層(0 - 40 cm)	$1.27 \times 10^2$
残積土 下層(40 - 50)	$6.72 \times 10^3$

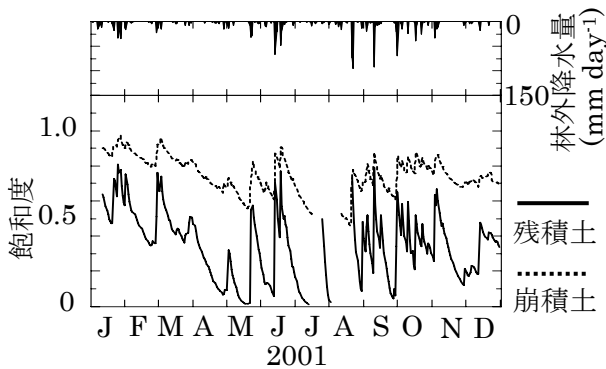


図-10. 各土質帯の平均飽和度の経時変化

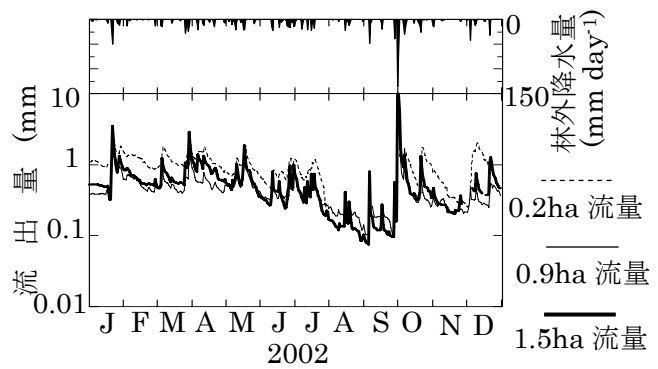


図-11. 流域各部における流出量の経時変化

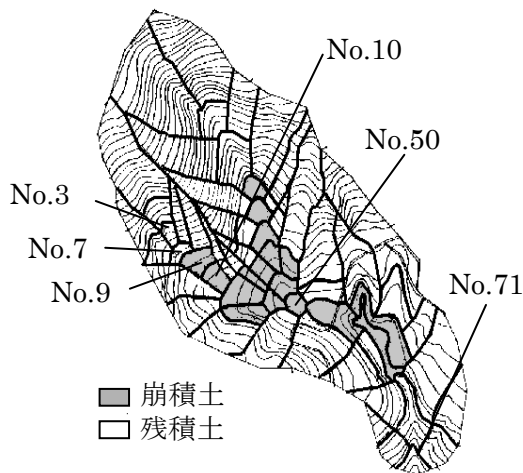


図-12. 1.5ha 流域の単位斜面への分割

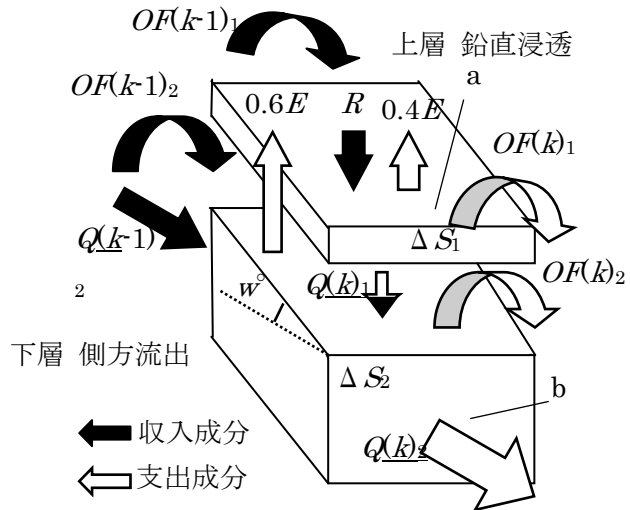


図-13. 単位斜面毎の計算の概念図

### 3-3. 考察及びフェーズIIのまとめ

#### 3-3-1. モデルの構成

モデルは、観測結果より得られた土層厚と土壤物理特性の空間分布不均質性を表現できる分布型物理流出モデルである。流域を図-12で示すように、等高線を基にして小斜面（単位斜面と呼ぶ）に分割し、各単位斜面を残積土帯と崩積土帯に区別して計算の基本要素とした。さらに、各単位斜面を鉛直方向に、上層を鉛直浸透層、下層を側方流出層として2層に分割した。本モデルでは、土壤中の水移動を表す基礎式として、不飽和領域に拡張されたダルシー則より導かれた式(6)（上層）と式(7)（下層）を用いた。各層の連続条件は水収支を基本としていて、 $k$ 斜面での式は、概念図である図-13に従って示すと、次の式(8)（上層）と式(9)（下層）となる。 $k-1$ 斜面は $k$ 斜面の一つ上流の単位斜面のことである。右下の添え字は、1が上層、2が下層を表現している。

$$Q(k)_1 = f(Se) \times \sin w \times a \quad (6)$$

$$Q(k)_2 = f(pSe) \times \sin w \times b \quad (7)$$

$$R + OF(k-1)_1 = Q(k)_1 + OF(k)_1 + 0.4E + \Delta S_1 \quad (8)$$

$$Q(k)_1 + Q(k-1)_2 + OF(k-1)_2 = Q(k)_2 + OF(k)_2 + 0.6E + \Delta S_2 \quad (9)$$

$Q$ : 流出量,  $Se$ : 飽和度,  $w$ : 地表面傾斜（鉛直浸透の場合  $w=90^\circ$ ）,  $a$ : 単位斜面面積,  $b$ : 流出断面面積,  $R$ : 有効降雨量,  $E$ : 蒸発散量,  $OF$ : 貯留量の超過分であり、上層では地表流量に、下層ではパイプ流量に相当,  $\Delta S$ : 貯留量の変動量,  $f(Se)$ : 不飽和領域における透水係数  $K$  と  $Se$  の関係式である Van Genuchten の式(8)を使い近似された透水係数,  $f(pSe)$ : 土層内鉛直水分分布のプロファイルを考慮した透水係数  $pK$  と  $pSe$  の関係式,  $pSe$ : 土層内鉛直水分分布のプロファイルを考慮した土層の飽和度。

次に、 $f(pSe)$ の概念について述べる。実際の土層内の斜面方向フラックスには鉛直プロファイルが存在する。これは土層内の土壤水分分布に鉛直プロファイルが存在するためである。このため、側方

流出層での斜面方向の流出を考える場合、側方流出層内上部の不飽和領域における透水係数の低下を、土層内の平均飽和度  $Se$  を使って近似することはできない。本モデルでは、単位斜面下層の側方流出層内において鉛直浸透がない、つまり鉛直方向に静水状態にあると仮定して、 $f(pSe)$  を近似した。任意の土層厚を持った単位斜面について、各  $f(pSe)$  を求める。側方流出層が任意の平均飽和度  $Se$  である時、側方流出層内を鉛直方向に等間隔に分割し、分割された各層の水理ポテンシャルは均一であると仮定すると、各層の圧力ポテンシャルが決定するため、各層ごとの飽和度と不飽和透水係数が求まる。本モデルでは 10 cm 毎に分割した。側方流出層において、鉛直水分分布のプロファイルを考慮した土層の飽和度  $pSe$  と透水係数  $pK$  の関係式は次式 (10) となる。

$$f(pSe) = \frac{f(Se(1)) + f(Se(2)) + \dots + f(Se(n-1)) + f(Se(n))}{n}$$

$$= \frac{K(1) + K(2) + \dots + K(n-1) + K(n)}{n} = pK \quad (10)$$

$n$ : 分割された層の数。

式 (10) より、様々な平均飽和度の時の各不飽和透水係数を、各土層厚・各土質において近似した。ここで、実際の土層断面には飽和度の鉛直プロファイルが存在し、より深い部分の水文学的基盤上には飽和帯が発生しているところもある。この基盤上では、速い飽和側方流が発生している。しかし、従来の研究では、土層断面全体の平均飽和度から透水係数を算出するため、水文学的基盤上付近の速い側方流を表現できなかった。本研究の概念を用いると、斜面側方流層では単純な単層の計算をしているにすぎないが、水文学的基盤上に発生する速い側方流を評価することができる。

### 3-3-2. モデルの再現性

モデルは 2000 年 10 月 1 日から計算を開始した。なお、本モデルはキャリブレーション期間を必要としない。計算は時間単位で行っているが、表示は時間値を積算し日単位で行う。まず、各流出量の実測値と計算値の経時変化を図-14 に示す。本流出モデルによる計算結果は、実測の 1.5ha 流出量、0.9ha 流出量、0.2ha 流出量の変化と全体的に良く適合している。10 月 1 日の大雨 (136mm day<sup>-1</sup>) 以後、3 つの流出量の計算値が実測値に比べ過大になっている。しかし、通常の降雨時、ピーク付近での適合性は良好である。特に 1.5ha 流出量と 0.9ha 流出量の計算値と実測値の適合性は、ハイドログラフの形状、量ともに非常に高い。表層流 (0.2ha 流出量) は河川流 (1.5ha 流出量と 0.9ha 流出量) に比べ増減が小さく減水勾配も緩やかであるという両流出の特性の再現性も良好である。これらのことから、今回提示した流出モデルは、斜面各部での流出変動を予測し、個々の場所ごとでの水の移動を理解する上で、十分な結果を示したと言える。

次に、各斜面飽和度の実測値と計算値の経時変化を図-15 に示す。飽和度の実測値は、それぞれの単位斜面に埋設されているテンシオメータから得られた値である。No.9 斜面の適合性が多少不良である。9 月、10 月の多雨期と 11 月において飽和度が過大に計算されている。しかし、飽和度の減少勾配はよく再現されている。また斜面上部に存在し土壌水分の変動が激しい No.3 斜面や、その下流部にあり変動の幅が小さい No.7 斜面、さらに下流部にありほぼ飽和に近く飽和度の変化が小さい No.9 斜面など、それぞれの場所での変動の量や特徴がよく再現されている。本モデルは、斜面各部での土壌水分を予測し、個々の場所ごと、個々の場所間での土壌水分変動を理解する上で、十分な結果を示

したと言える。

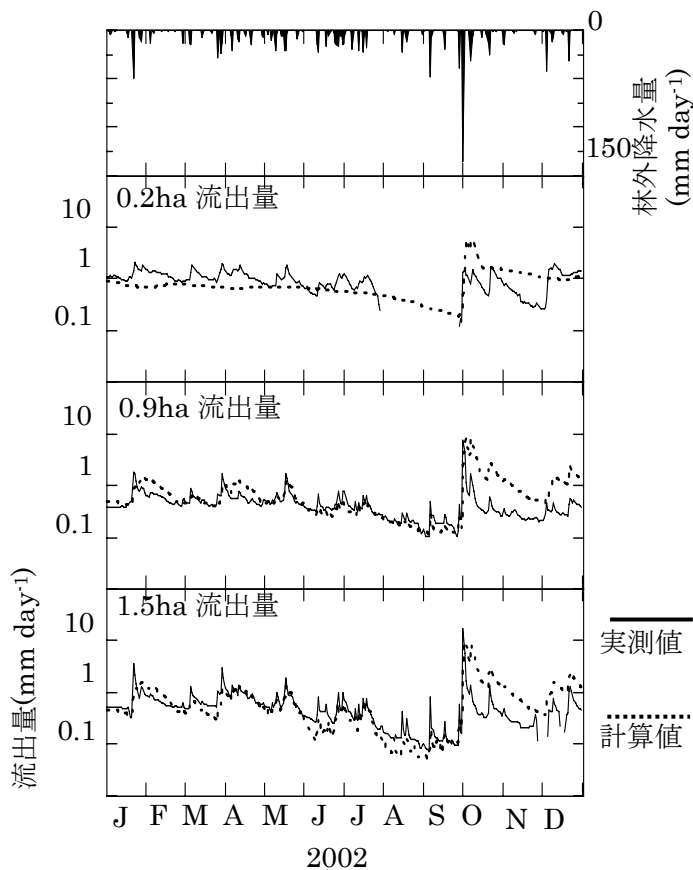


図-14. 斜面各部での流出量の実測値と計算値の経時変化

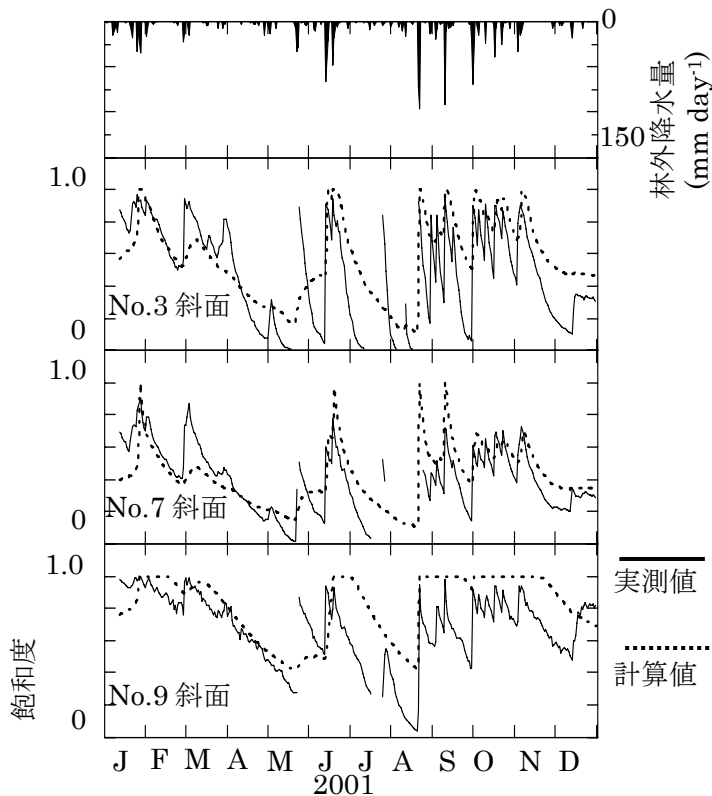


図-15. 斜面各部での飽和度の実測値と計算値の経時変化

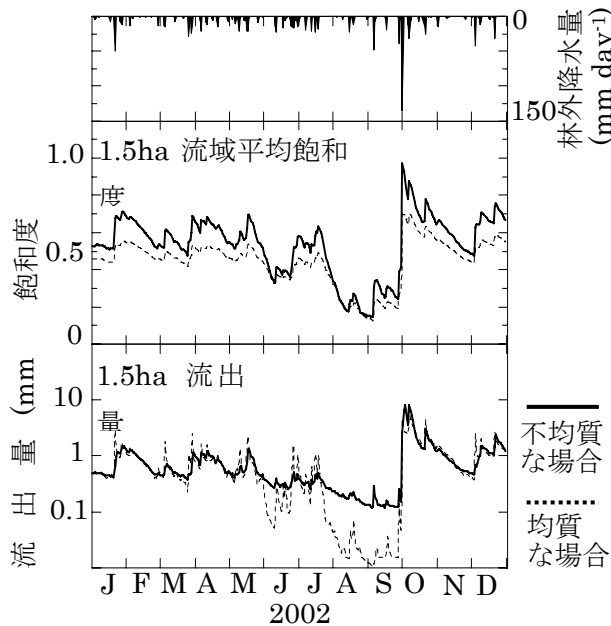


図-16. 1.5ha 流域平均飽和度（上図）と 1.5ha 流出量（下図）の経時変化

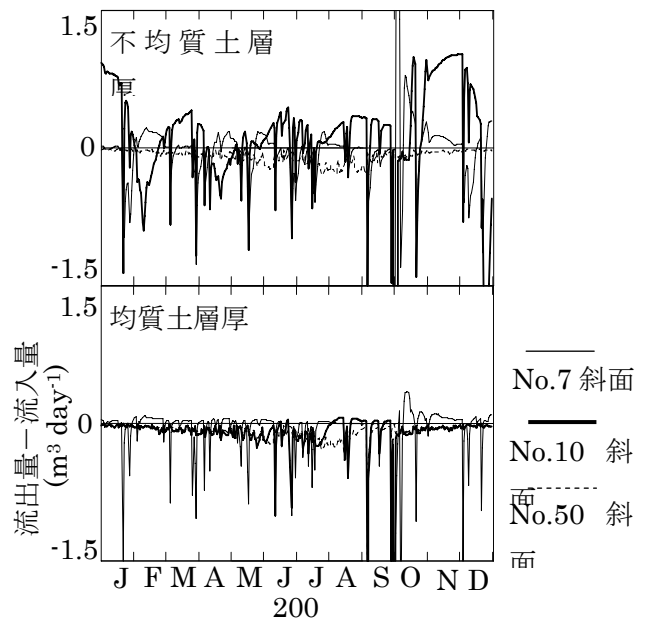


図-17. 各単位斜面における「流出量-流入量」の値の経時変化

### 3-3-3. 考察

モデルの計算結果を使って、特に土壌調査で顕著であった土層厚の空間分布不均質性が、流域内部の流出と土壌水分の動態に与える影響を理解する。土層厚分布が調査に基づき不均質な場合と、流域平均土層厚 0.6m（上層 0.1m，下層 0.5m）で均質に設定した場合の、1.5ha 流域平均飽和度と 1.5ha 流出量の経時変化を示す（図-16）。

図-16 より、土層厚が不均質に分布している場合、流域内の土壌水分量は、均質な場合より常に高い状態に維持される。1.5ha 流出量は、降雨時、ピーク流量が小さくなり、減水も緩やかになる。つまり、不均質な土層厚分布が流出量の平準化をもたらしている。さらに、6月上旬と7月下旬から9月までの乾燥時、不均質な場合と均質な場合を比較すると、流域平均飽和度にはあまり差がみられないが、1.5ha 流出量に関して、不均質な場合は渇水が抑制されている。計算結果より、これは 1.5ha 流出部近傍の飽和度が大きいためである。つまり、土層厚が不均質であると、流域内での土壌水分分布の偏在性が大きくなる。これらより、土層厚が不均質な場合と均質な場合とで、流域内各部において流出量平準化の機能に差があることが示唆された。

各単位斜面の流出量平準化機能を定量的に示す。各単位斜面において流出量から流入量を差し引いた値の経時変化を図-17 に示す。この値が、プラスなら、その単位斜面は下流に対して土壌水分の供給源として機能していて、マイナスなら、その単位斜面は上流からの土壌水分を吸収し、土壌水分不足の解消や蒸発散のため消費していることを表している。ここでは特に 1.5ha 流出の右支流線上に注目する。No.7 斜面より上流の斜面、No.10 斜面付近の斜面、No.50 斜面より下流の斜面で、傾向がほぼ同様であったため、図には No.7 斜面、No.10 斜面、No.50 斜面を代表として示す。土層厚が不均質な場合、特に土層厚が厚い（3.1m）No.10 斜面が、降雨時に水分を吸収し、無降雨時や乾燥時に水分を供給するという、流出量を平準化する機能をもつ。均質な場合は全体的にその機能を失っている。つまり、流域の土層厚分布が不均質なことで、それに伴う特に土層厚の厚い部分が土壌水分を貯留することによって乾燥時に渇水を抑制する。

次に、同じ流出成分である 0.9ha 流出と 1.5ha 流出の流出特性の違いについて考察する。具体的に

は図-10より、通常1.5ha流出量の方が多いが、8月と9月の乾燥時には0.9ha流出量の方が多くなるという、流出量の逆転現象である。このことは、図-17上図、土層厚が不均質な場合の経時変化より、乾燥時、0.9ha流出部直上に位置するNo.10斜面付近が土壌水分の供給源となっているのに対し、1.5ha流出部に位置する斜面からNo.50斜面までの斜面で土壌水分が吸収、消費されているためである。したがって、流域内部における土層厚の空間分布の違いによってもたらされる流出量平準化機能の大きさの違いやその機能をもつ部分の配置の違いが、流出や土壌水分の時空間変動性をもたらすのである。

#### 4. 成果の達成度

土壌の空間分布が不均質な小流域において、土層厚と土壌物理特性の違いを表現した本モデルを適用することによって、流域各部の長期間にわたる流出や土壌水分の時空間変動を再現できた。土層厚（特に崩積土層厚）の不均質な空間分布が、流域各部の降雨流出特性の違いに大きな影響を及ぼすことがわかった。流出や土壌水分の時空間変動は、流出量平準化機能をもつ斜面の、その機能の大きさや流域内での配置によって説明できた。

今後の展望として、本研究で重要であることが示された土層厚の空間分布を推定するためのサブモデル、蒸発散や樹冠遮断などの水循環の素過程を求めるためのサブモデルなどを組み込んだ水循環モデルを構築することで、林冠構造が林地の水分・熱収支環境に及ぼす影響の予測と理解が可能となる。

これまでに蓄積された各種の水文・気象データから、流域における降雨量、流出量、蒸発散量などの水収支項目と放射量など熱収支項目の季節変化の実態を総合的に解明し、林冠構造が水・熱環境に及ぼす影響を定量的に評価するという計画のもと解析を進めてきた。土層厚の空間分布不均質性が、流出や土壌水分の時空間変動に及ぼす影響を探るため、詳細な水文観測と土壌調査が行われた里山斜面において分布型流出モデルを構築、適用し、土層厚の空間分布不均質性が、流出や土壌水分の動態に及ぼす影響の定量的な理解が得られた。

#### 5. 今後の課題

季節に伴う林冠構造の変化をモデルに組み込み、これまでに蓄積された各種の水文・気象データから、流域における降雨量、流出量、蒸発散量などの水収支項目と放射量など熱収支項目の季節変化の実態の総合的な解明を進める。

田中隆文・朴 昊澤・服部重昭：魚眼レンズを用いる LAI 推定法の問題点再考。ー距離情報をもつアクティブ広角画像による検証ー，第113回日本林学会大会，新潟，2002年4月

Tanaka, T., Park, H., Hattori, S., : 3d LAI measurement with an active hemispherical image. 3rd International Canopy Conference. Cairns Australia , June, 2002.

前田賢治・田中隆文・朴 昊澤・服部重昭 里山斜面における土壌水分動態の空間分布とそのモデル化. 水文水資源学会 2002年研究発表会，盛岡，2002年8月（要旨集 p. 156-157）

前田賢治（2003）里山斜面における土壌水分動態とそのモデル化. 名古屋大学大学院修士論文. 118pp.

前田賢治・田中隆文・朴昊澤・服部重昭（2003） 里山斜面における流出・土壌水分動態とそのモデル化，水文・水資源学会 2003年研究発表会要旨集，208-209

前田賢治・田中隆文・朴昊澤・服部重昭（2003）土層の空間分布不均質性が流出・土壌水分の動態に及ぼす影響ー分布型流出モデルを用いてー，第52回日本林学会中部支部大会研究発表会講演要旨

集, 44.

Tanaka, T., Park, H., Hattori, S., Distinguishing foliage from branches in nondestructive measurements of the 3-dimensional structure of mountainous forest canopies. IUFRO WS of Mountainous Forest. Vernon Canada, July-August, 2002.

Tanaka, T., Tokodai, K., Park, H. and Hattori, S. Characteristics of forest canopy texture as a landscape element (II) -Relationship between canopy texture and 3 dimensional canopy structure-, Landscape Frontier International Symposium 2002, Kokura, Japan, October 2002.

Tanaka, T., Park, H. and Hattori, S. Distinguishing foliage from branches in nondestructive measurement of the 3-dimensional structure of mountainous forest canopies. Forest Chronicle, Mar/Apr 03. (Printing).

Tokodai, K., Tanaka, T., Park, H. and Hattori, S., Characteristics of forest canopy texture as a landscape element (I) - The effect of texture on landscape and its dependence on positions of view point -, Landscape Frontier International Symposium 2002, Kokura, Japan, October 2002.

Van Genughten A closed-form equation for predicting the hydraulic of unsaturated soils. Soil Sci. Soi. AmJ. 44 : 892-898, 1980.