

## 論文

## 熱帯モンスーン常緑林流域における水・土砂流出機構の解明（Ⅱ） —開発の進んだ流域における流出土砂量の推定事例—<sup>\*1</sup>

壁谷直記<sup>\*2</sup>・清水 晃<sup>\*2</sup>・清水貴範<sup>\*3</sup>・飯田真一<sup>\*3</sup>・玉井幸治<sup>\*3</sup>・宮本麻子<sup>\*3</sup>

壁谷直記・清水晃・清水貴範・飯田真一・玉井幸治・宮本麻子：熱帯モンスーン常緑林流域における水・土砂流出機構の解明（Ⅱ）—開発の進んだ流域における流出土砂量の推定事例— 九州森林研究 72：51—55, 2019 世界では年間5.2万km<sup>2</sup>の森林が消失しており、東南アジア諸国においても森林減少は深刻な問題である。森林伐採による土壌侵食量の増加は、河川下流の河床上昇を引き起こし、洪水氾濫のリスクを増大させる可能性がある。そこで、東南アジアで比較的豊かに森林が残っているカンボジアの熱帯モンスーン常緑林流域を対象に、土地利用の違いが水と土砂の移動特性に及ぼす影響を解明することを目的として、観測を実施した。森林率の大きく異なる2つの対象流域を踏査し、堆積土砂量の測定のために好適な場所を選定し、流出土砂を捕捉するための簡易堰を設定した。このうち、開発が進んだオーテックロー流域での観測結果をもとに、年間流域流出土砂量を推定したところ、 $1.98 \times 10^{-3}$  mm/yearであった。

キーワード：常緑林, 森林流域, 土砂流出, 熱帯モンスーン気候

Kabeya, N., Shimizu, A., Shimizu, T., Iida, S., Tamai, K., Miyamoto, A. : Research on water and sediment discharge mechanism in tropical monsoon evergreen forest catchments (II) : a case of sediment yield estimation in a developed catchment. *Kyushu J. For. Res.* 72 : 51 — 55, 2019 In Southeast Asian countries, deforestation is a serious problem, and increase of soil erosion by deforestation may cause stream bed rise, and may also increase the risk of flooding. Although Cambodia had a comparatively high rate of forest area comparing with neighboring countries, lots of forests are quickly decreasing by development in these years. We have started research investigating water and sediment discharge owing to land use change in the evergreen forest experimental catchment in Kampong Thom Province. A temporary wooden dam for catching soil was set to two watersheds where forest ratios differ. Among these, the amount of annual sediment yield in the O Teak Look catchment where almost forest has been developed was estimated to be  $1.98 \times 10^{-3}$  mm/year.

Keyword : evergreen forest, forest catchment, sediment discharge, tropical monsoon climate

### I. はじめに

世界では年間5.2万km<sup>2</sup>の森林が消失しており、東南アジア諸国においても森林減少は深刻な問題である。カンボジアの森林率は2000年時点で、57%と、周辺のタイ、マレーシア、ベトナムなどに比べて高い値を維持していた（FAO, 2010）。しかし、貴重な熱帯モンスーン常緑林が多く分布するカンボジアの中央部においても、近年は人口増加に伴う開発により森林が急激に減少していることが明らかになっている（Kurashima *et al.*, 2015）。一方で、東南アジア地域では気候変動に由来する豪雨が頻発しており、タイでは2011年の洪水が大きな問題となった。森林伐採による土壌侵食量の増加は、豪雨の際に下流の河川の河床上昇や洪水氾濫のリスク増加を引き起こす可能性が非常に高い。斜面での土砂生産は、降雨強度などの気象条件と土壌、土地利用、地形改変などの立地環境条件により規定される。また、流域スケールでの土砂の移動プロセスを理解するためには、土砂の生産および輸送に深く関係する洪水流出の発生プロセスを明らかにする必要がある。

インドシナ半島地域では、タイ王立水文研究所（Rabin &

Dushamanta, 2004）により米国で開発された分布型の土砂移動モデルをタイ国内のダム開発を行った農地流域に試験適用した研究事例がある。このような分布型の土砂移動モデルは、土地利用変化に対する流域からの土砂流出量の将来予測に活用することが期待されているものであるが、十分なモデル評価が行われていないために、土砂生産予測の現場では、未だ活用されていない。

森林伐採による土壌侵食量の増加は、河床上昇を引き起こし、洪水氾濫のリスクを増大させる可能性がある。そこで、東南アジアで比較的豊かに森林が残っているカンボジアの熱帯モンスーン常緑林流域を対象に、土地利用の違いが水と土砂の移動特性に及ぼす影響を解明することを目的として、観測を進めている。常緑林流域試験地のあるコンポントム州チニット川流域において、森林率の大きく異なる2つの対象流域を踏査し、堆積土砂量の測定のために好適な場所を選定し、流出土砂を捕捉するための簡易堰を設定した。このうち、開発が進んだオーテックロー流域での観測結果をもとに、年間流域流出土砂量を推定した。なお、今回報告する、簡易土砂測定用簡易堰により観測した土砂は、掃流砂として運搬されたものを対象としている。

<sup>\*1</sup> Kabeya, N., Shimizu, A., Shimizu, T., Iida, S., Tamai, K., Miyamoto, A. : Research on water and sediment discharge mechanism in tropical monsoon evergreen forest catchments (II) : a case of sediment yield estimation in a developed catchment.

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Ctr., For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

<sup>\*3</sup> 森林総合研究所 For. & Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687

## II. 調査地および方法

### 1. 調査地と観測体制

図-1にカンボジア国内の試験地の位置図を示した。当研究グループでは常緑林流域試験地（コンボントム州）において継続的に水文観測を実施している（壁谷ら, 2014）。本研究では、土砂移動を把握するために侵食ピンプロットおよび堆積土砂測定用簡易堰を設置した（図-1）。侵食ピンプロットは森林斜面からの土砂移動の実態を把握するために、斜面傾斜の異なる2つの地点（プロットNo1とNo2）に侵食ピンプロットを設置した。また、流域スケールの土砂移動量を把握するために、森林開発の程度の異なる2つの森林流域に堆積土砂測定用簡易堰を設置した。また、プノンペンにあるカンボジア森林局森林野生生物研究所敷地内に人工の実験斜面を作成し、侵食斜面プロットを作成した。これらの試験地の設置状況に関しては、壁谷ら（2018）に詳しい。

### 2. 堆積土砂測定用簡易堰

図-2に堆積土砂測定用簡易堰の研究計画と設置状況を示した。流域内の森林開発が進んだ流域としてオーテックロー流域、流域内の森林が保全されている流域としてオートムI号源頭部流域の2流域を対象とした。オーテックロー流域とオートムI号源頭部流域の流域面積は、それぞれ4 km<sup>2</sup>と5 × 10<sup>-2</sup> km<sup>2</sup>である。このうち、オーテックロー流域には2017年5月に河川により流送される土砂をせき止めるために、木板、石により高さ50 cmの簡易堰を作成した（写真-1）。簡易堰に、土砂は堆積するが、水は下流に排水するように透水性シートを設置した。地形的に土砂の堆積が予想される堰上流側の20 m程度までの詳細な地形測量を実施した。この際、河道近傍の不動点から堰を設置した河道面の高さを測定し、その値を地盤高のゼロ点とした。堰設置から1年が経過した2018年4月に、再び地形測量を実施する予定であったが、この堰は、2017年の雨季末期11月の出水により流失した（写真-2）。しかし、毎日現地の水位記録を行っている現地雇用者により堰が流失する直前の土砂堆積深が計測されていた。これにより、現地雇用者の測定値と2018年4月の地形測量の結果を合わせることで、堰が流される直前の土砂堆積状況を推定し土砂堆積後地形図の作成が可能となった。

### 3. 堆積土砂量の計算方法

土砂堆積前後のレベル測量と堰が流失する直前の現地雇用者の堆積土砂深の計測記録をもとに初期地形図と土砂堆積後の地形図を作成した。この図を25 cmメッシュで分割し、河道エリアを対象に、その地盤高変化から土砂堆積量を算出した。さらにこの値を流域面積で除し、年間流域流出土砂量（mm/year）を算出した。

## III. 各試験プロットの設定状況と初期的結果

### 1. オーテックロー流域の初期地形図および土砂堆積後地形図

図-3に等高線図2017年5月を示した。この図に示したとおり、堰から上流側約20 mまでの河道周辺を観測対象とした。このエリア内での河道幅は上流側で2 m、下流側で4 mであった。河道内にはいくつかのくぼみがあるが認められ、河道内で±10 cm程度の高低差が確認されたものの、全体的には平坦で直な

河床形状となっていた。

図-4に等高線図2018年4月の測量と堰流失直前の観測値により作成した土砂堆積後地形図を示した。この図において、河道内の地盤高は、堰流失直前に現地雇用者が観測した地盤高（0.2 m）が均一であると仮定した。今回の調査では1年間で本河川が生産する最大の土砂堆積量を把握することが主な目的であるため、この仮定は、大きな矛盾な生じないものと考えられた。

### 2. 堆積土砂量の計算結果

表-1に堆積土砂量の計算結果を示した。対象となった河道エリアは、約34 m<sup>2</sup>であり、それらの地盤高は平均で約0.24 m増加していた。これらに乗じて堆積土砂量は8.31 m<sup>3</sup>と算出された。この値を流域面積で除したところ、年間流域流出土砂量は1.98 × 10<sup>-3</sup> mm/yearとなった。

## IV. 結論

森林開発が進み、かつて森林だったが現在は、畑地が大半を占めるオーテックロー流域において1年間の土砂観測結果が得られた。洪水時には、水流および堆積土砂による圧力が增大して簡易土砂測定用簡易堰が破壊されたため、直接最大時土砂堆積量の測定はできなかったが、毎日定期観測する委託者の記録により、最大土砂量の高さは確認できた。これによって、2017年5月から1年間の堆積最大土砂量の推定は可能となった。計算の結果、1年間の堆積土砂量は約8 m<sup>3</sup>と推定された。これを流域面積で除算すると1.98 × 10<sup>-3</sup> mm/yearとなった。これは非常に小さい値であり、侵食量が小さいとされる日本の森林地並みの値（塚本, 1998）であった。しかしながら、現地踏査や流域DEMデータにより、対象流域は非常に平坦な地形であり、土地利用変化が生じても直ちに侵食した土砂が河道まで流れ込むとは考えにくい地域であることが分かっている。このことから、侵食した土砂が河道まで到達するエリアは、対象流域内では、河道近傍に限られたエリアに限定されるものと推測される。

今後は、河道周辺エリアを対象に侵食量を再計算する予定である。また、土地利用変化に伴い、洪水流出ピークなどの水文応答に変化が生じたのかどうかに関しても、合わせて検討する予定である。

本研究では掃流砂として輸送される土砂についての動態に関する研究を行った。輸送形態が異なる浮遊土砂に関しては、今後の研究が必要である。

## 謝辞

現地観測、測器の設置に関してカンボジア国森林局森林野生生物研究所の皆様にご多大なご協力を頂いた。本研究は、クリタ財団研究助成金および科研費（16K07799）の一部を用いて実施した。

## 引用文献

- FAO (2010) FAO Forestry paper 163, 378 pp, FAO, Rome  
 壁谷直記ほか (2014) 水利科学 338:1-16  
 壁谷直記ほか (2018) 九州森林研究 71:79-82

Kurashima T. *et al.* (2015) *Forest* 6: 3087-3108  
 Rabin B. and Dushamanta D. (2004) *Proceedings of the International Conference on "Advances in international Mekong River Management"*, 25-27 October 2004,

Vientiane, Laos: 66-73  
 塚本良則 (1998) *森林・水・土の保全—湿潤変動帯の水文地形学一*, 朝倉書店, 138 pp  
 (2018年11月8日受付; 2018年12月15日受理)

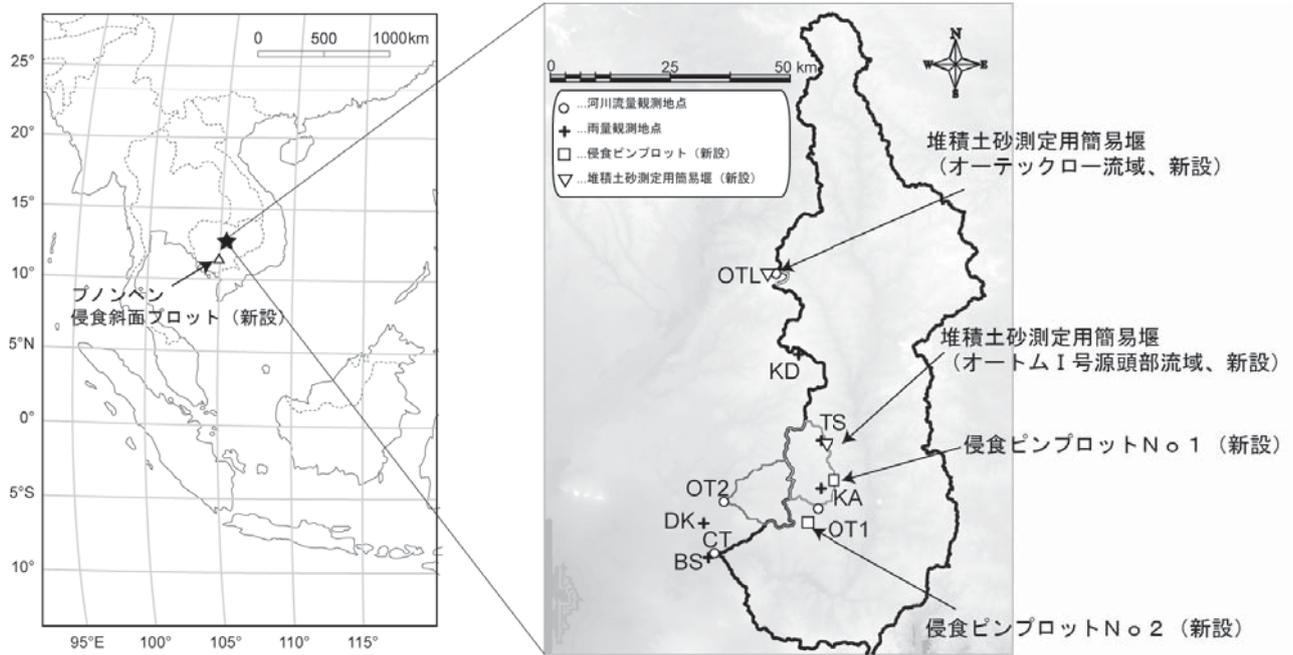


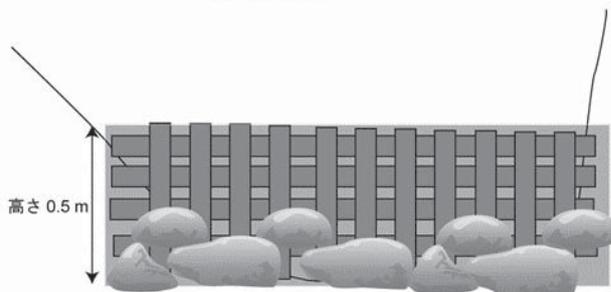
図-1. カンボジア国のプノンベンおよびコンボントム州常緑林流域試験地内に設置した土砂移動観測施設の位置図



オーテックロー流域 (4 km<sup>2</sup>)  
**開発流域**



オートムI号源頭部流域 (5 x 10<sup>-2</sup> km<sup>2</sup>)  
**未開発流域**



- 1) 高さ50cmの木製枠組みを河道の測定断面に設置。
- 2) 土砂のみを捕捉し、水は流下させるために透水性シートで被覆。
- 3) 毎年の乾季(4月)に地形測量を行い、土砂の堆積量を記録する。

図-2. 堆積土砂観測用簡易堰の概要

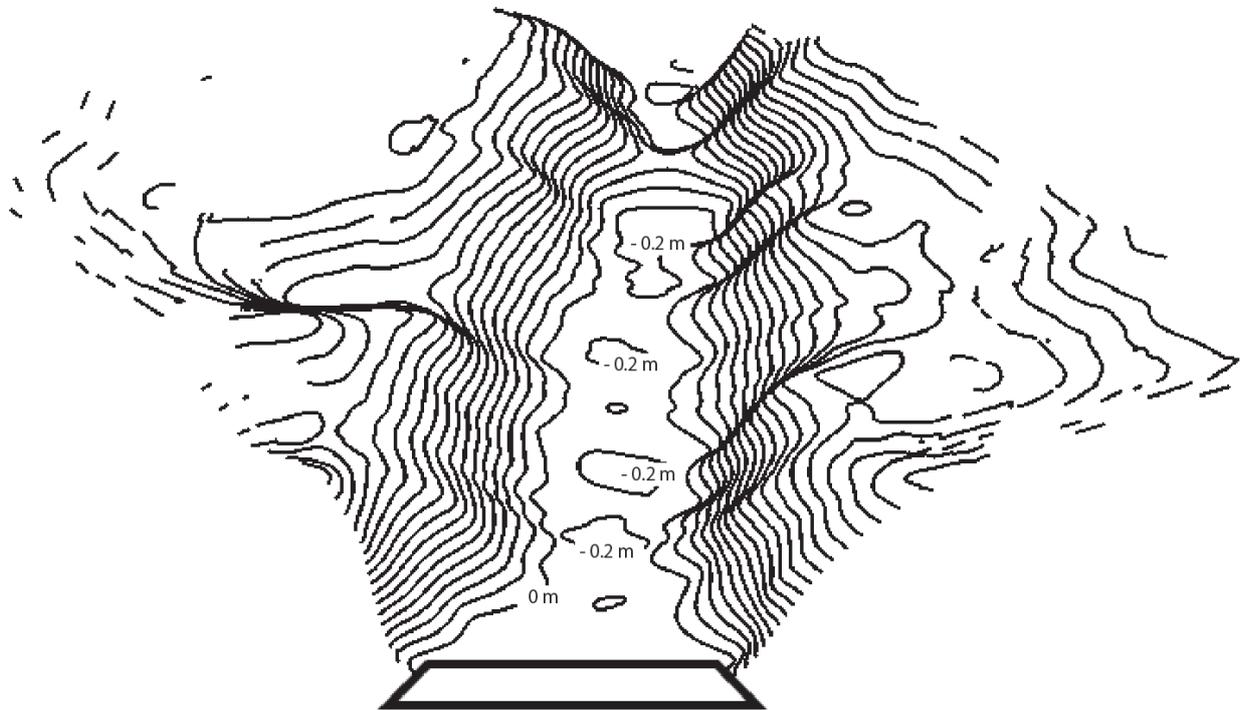


図-3. オーテックロー流域の堆積土砂観測エリアの初期地形図 (2017年5月)  
注) 等高線を示すコンターは20 cm ごと

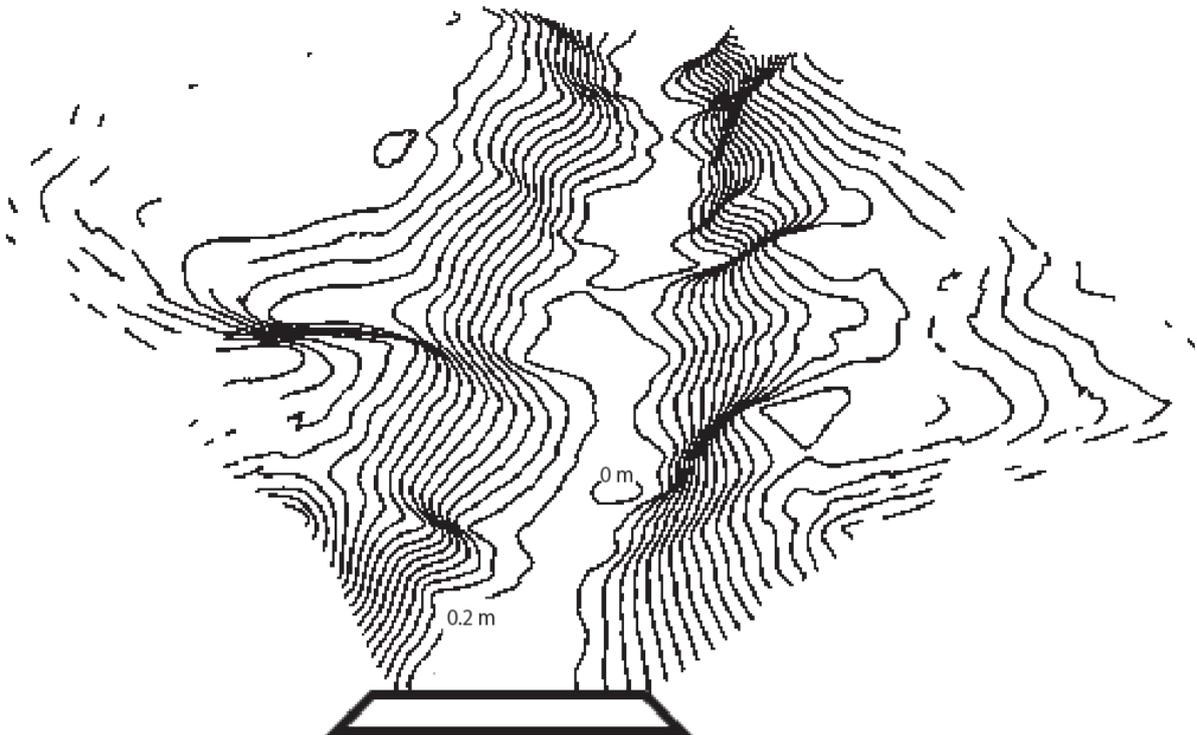


図-4. オーテックロー流域の堆積土砂観測エリアの土砂堆積後の地形図 (2018年4月)  
注) 等高線を示すコンターは20 cm ごと



写真-1. オーテックロー流域の堆積土砂観測用簡易堰  
(設置直後の様子 2017年5月)



写真-2. オーテックロー流域の堆積土砂観測用簡易堰  
(出水により堰が流失した直後の様子 2017年11月)

表-1. オーテックロー流域の堆積土砂量に関する計算結果

項目	オーテックロー流域
サンプル数 N (個)	549
対象河道エリア A (m <sup>2</sup> )	34.3125
平均地盤高変化量 $Z_{\text{mean}}$ (m)	0.2422
堆積土砂量 $V=Z_{\text{mean}} \times A$ (m <sup>3</sup> )	8.310
年間流域流出土砂量 $V/D$ (mm/year)	$1.98 \times 10^{-3}$

D: 流域面積4,188,194 m<sup>2</sup>