

## 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（Ⅲ） —傾斜10度の森林斜面における3年間の侵食ピンプロット試験の結果—<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（Ⅲ）—傾斜10度の森林斜面における3年間の侵食ピンプロット試験の結果—九州森林研究 73：75－78，2020 東南アジア諸国において森林減少は深刻な問題であり，森林伐採による土砂流出量の増加は，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。カンボジアは近隣諸国の中では比較的高い森林率を有していたが，近年の開発により急速に森林が減少している。そこで，同国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，観測研究を実施している。本報では，プロット No 1（傾斜10度）における3年間の観測結果を報告する。3回計測した侵食ピンの平均値は，±1 mm以内であった。斜面傾斜10度の森林内においては，林内被覆があれば侵食はほとんど起きないことがわかった。

キーワード：常緑林，森林斜面，雨滴侵食，熱帯モンスーン気候

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 has kept higher rate of forest area compared with neighboring countries, lots of forests have been decreasing by development in these years. We have started research for investigating water and sediment discharge owing to land use change in the evergreen forest experimental catchment in Kampong Thom Province, Cambodia. This study reports the result in plot No 1 (slope angle: 10 degrees) over three years. Average value of erosion pins measured 3 times was less than ± 1 mm. It was considered that erosion hardly occurred in a forest slope with 10 degrees where a forest floor was covered by litters.

**Keyword** : evergreen forest, forest slope, raindrop erosion, 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。森林伐採による土砂流出量の増加は，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，地形変化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。

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，2016年4月から5年間の計画で観測研究を開始した（壁谷ら，2018）。同年，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（壁谷ら，2019）。また，現地の森林斜面での土砂移動の実態を把握するために，2つの侵食ピンプロット（No 1，No 2）を作成し観測を開始した。本研究ではこれらの試験地での試験結果のうち，傾斜10度の森林内に設置した侵食ピンプロット No 1 における3年間の観測結果を報告する。

## II. 調査地および方法

### 1. 常緑林流域試験地

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（コンポントム州）において継続的に水文観測を実施している（壁谷ほか，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 No 1 と No 2）に設置した。

<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 (Ⅲ) : the results of erosion pin plot experiment on a forest slope with 10 degrees over three years.

<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, Japan

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

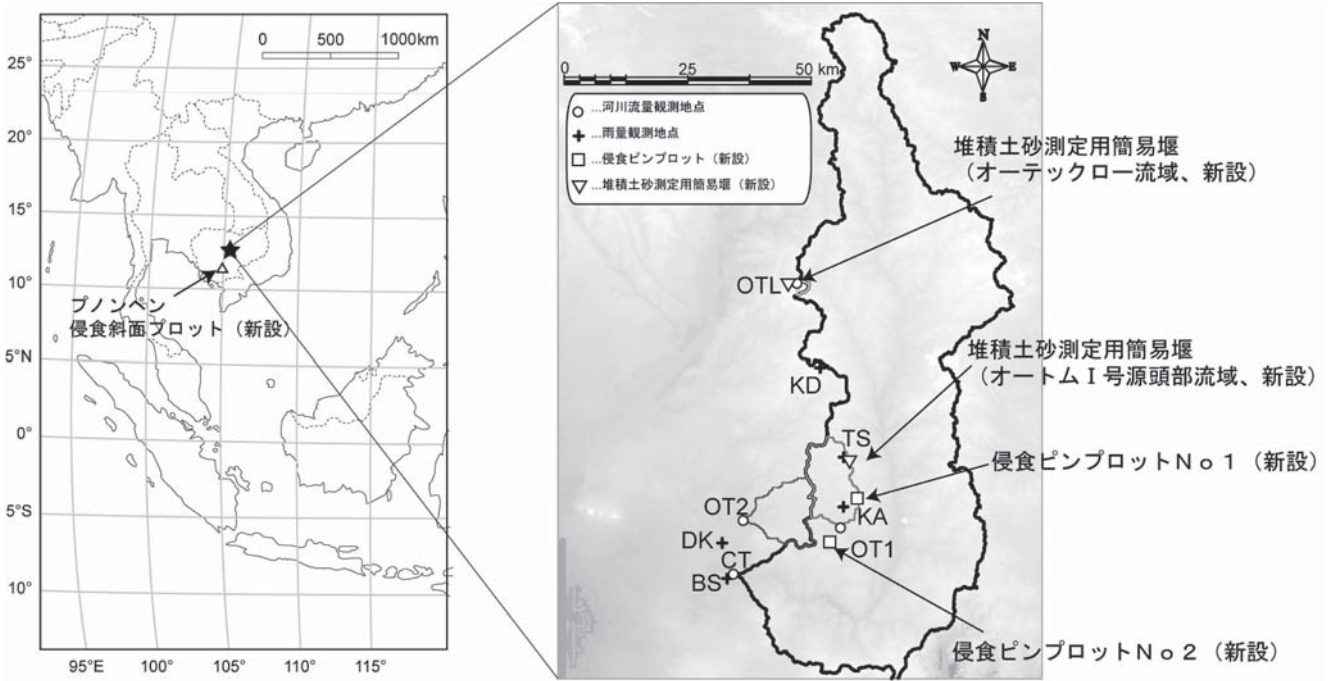


図-1. カンボジア国のプノンベンおよびコンポントム州常緑林流域試験地内の土砂移動観測施設の位置図

## 2. 侵食ピンプロット

図-2に侵食ピンプロットの設定状況を示した。試験地は、傾斜の異なる2つの森林斜面に設定した。侵食ピンプロットNo1の平均傾斜は10度、侵食ピンプロットNo2の平均傾斜は30度であった。斜面方位は、ともに北である。林冠の開空度は、侵食ピンプロットNo1が13.5%、侵食ピンプロットNo2が22.4%であった。プロットのサイズは、2m×5mとし、0.5m間隔の交点に侵食ピンを設置した。各侵食ピンは、全長30cmの測量用ポール(型式TPP-30、トラスコ社製)を用い、初期値として深さ15cmまで鉛直に挿入した。定期的に各ピンの高さ(Z mm)を計測し、各ピンにおける土砂の変化量( $\Delta Z = Z_0 - Z_1$ )から侵食( $\Delta Z < 0$ )もしくは堆積( $\Delta Z > 0$ )を判別した。ここで、 $Z_0$ および $Z_1$ はそれぞれ、前回と今回のピンの高さを示している。また、侵食か堆積かを明瞭に示すため侵食の場合は $\Delta Z$ の値の前にはマイナス(-)、堆積の場合には $\Delta Z$ の値の前にはプラス(+))を表記した。堆積および侵食が活発に生じた箇所の個数の目安として10mm以上の侵食もしくは堆積を生じた地点のピンの個数をそれぞれ、N( $\Delta Z < -10$  mm)およびN( $\Delta Z > +10$  mm)として集計した。

2016年7月に周辺地形測量と各侵食ピンの初期設置高を測定した。なお、侵食ピンプロットNo1では、初期設置の際には、プロットの上段4列は未設置であった。1回目の計測は、2017年5月に実施した。この際に、観測精度を向上させるためにプロットの上4列を増設し、侵食ピンを設置した。2回目の計測は、2018年4月に実施した。3回目の計測は、2019年1月に実施した。

## Ⅲ. 測定結果

### 1. 期間中の降雨量について

これらの試験地に近い図-1のKA地点における2016~2018年の年平均雨量は1560mmであった(図-1)。本試験において対象とする森林内での侵食は、主に雨滴衝撃など降雨を動的要因とし、重力移動による侵食を対象としている。試験地では主に降雨は4月~11月に集中しており、12月~3月にはほとんど雨が降らない。このため、降雨による土砂移動も4月から11月に発生しているものと考えられる。なお、3回の測定期間中の10分間降雨強度を比較したところ2回目の測定期間(2017年5月~2018年4月)中の2017年10月1日21:00に28mm/10min(時間雨量168mmに相当する降雨強度)という、非常に強い強雨が発生した。しかし、それ以外の降雨は、最大降雨強度は概ね10~20mm/10min(時間雨量60~120mmに相当する降雨強度)の範囲にあり、期間中に大きな違いは見られなかった。

### 2. 侵食ピンプロットの測定結果

表-1に侵食ピンプロットNo1での3回の計測結果を示した。1回目の計測で10mm以上の侵食もしくは堆積が発生したのはそれぞれ2か所と5か所だった。これは全体の測定点のそれぞれ6%、14%で合計20%であった。最大の侵食深と堆積深は、それぞれ-16、+22mmであった。全侵食ピンの平均値は+0.51mmであった。2回目の計測で10mm以上の侵食もしくは堆積が発生したのは、それぞれ3か所と4か所だった。これは全体の測定点のそれぞれ9%、11%で合計20%であった。最大の侵食深と堆積深は、それぞれ-22mm、+13mmであった。全侵食ピンの平均値は+0.29mmであった。3回目の計測では、観測精度を上げるため上4列を追加した。この計測で、10mm

以上の侵食もしくは堆積が発生したのはそれぞれ4か所と6か所だった。これは全体の測定点のそれぞれ7%、11%で合計18%であった。最大の侵食深と堆積深は、それぞれ-15、+15mmであった。全侵食ピンの平均値は、-0.82mmであった。

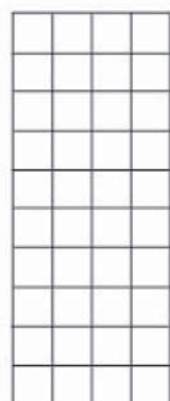
以上のように傾斜が10度の侵食ピンプロットNo1では、毎年  
の侵食ピンの変化で10mm以上堆積、もしくは侵食した箇所は、  
全体の18~20%以内の箇所に限られていた。また全体のピンの  
平均値は、はじめの2回は+0.3~0.5mm堆積となった。3回目



侵食ピンプロットN01 (斜面傾斜=10度)  
林内にプロットを設定



侵食ピンプロットN02 (斜面傾斜=30度)  
斜面中腹の内にプロットを設定



2 m

グリッド数  
水平方向5本  
斜面方向11本  
計55点  
ピン数=55本

5 m

0.5 m メッシュ



侵食ピン (全長=30 cm)

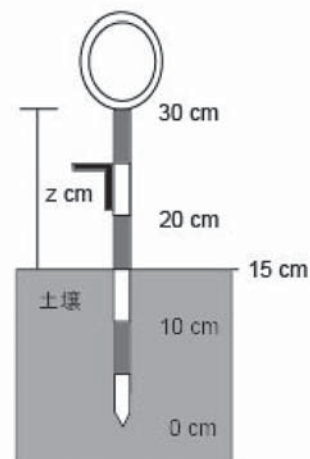


図-2. 侵食ピンプロットの概要

表-1. 侵食ピンプロットNo1 (斜面傾斜10度)における試験結果

$\Delta Z (=Z_0 - Z_1)^{*1}$	First Observation (May 2017)	Second observation (Apr 2018)	Third observation (Jan 2019)
AVE mm	+ 0.51	+ 0.29	- 0.82
MAX mm	+ 22	+ 13	+ 15
MIN mm	- 16	- 22	- 15
N	35	35	55
$N(\Delta Z < -10 \text{ mm})^{*2}$ (Ratio to N)	2 (0.06)	3 (0.09)	4 (0.07)
$N(\Delta Z > +10 \text{ mm})^{*3}$ (Ratio to N)	5 (0.14)	4 (0.11)	6 (0.11)
TOTAL (Ratio to N)	7 (0.20)	7 (0.20)	10 (0.18)

\*1:  $Z_0, Z_1$  は、前回および今回の各侵食ピンの測定値 (Z)

\*2: 侵食ピンの変化量  $\Delta Z$  が  $-10\text{mm}$  よりも小さかったピンの本数。カッコ内は、それらが占める全測定ピン数 N に対する割合。

\*3: 侵食ピンの変化量  $\Delta Z$  が  $+10\text{mm}$  よりも大きかったピンの本数。カッコ内は、それらが占める全測定ピン数 N に対する割合。



の測定では、 $-0.8\text{ mm}$  の侵食となった。この3回目の計測に関して、従来エリアのみの侵食ピンの平均値は、 $-0.26\text{ mm}$  であった。このようにプロットエリアにかかわらず、いずれも $\pm 1\text{ mm}$  以内の軽微な侵食傾向となった。

このように、本プロットでは明瞭な侵食・堆積は生じていないと考えられた。現地を目視による確認でも林床はほぼりターが厚く堆積しており、リル・ガリーなど特定の場所が続けて侵食されている形跡はなかった。

#### IV. 結論

本研究では斜面傾斜が10度のカンボジアの森林内での侵食ピンプロット試験を実施した。その結果、 $10\text{ mm}$  以上の侵食もしくは堆積が発生した箇所は斜面傾斜が10度の森林内では、18~20%に限られることがわかった。斜面傾斜が10度の森林内では、3回計測した侵食ピンの平均値は、 $\pm 1\text{ mm}$  以内であった。これは、林内で降雨による土砂移動がほとんど生じていないということを示している。塚本(1998)は温帯湿潤地域の森林内では、林内被覆がある場合、裸地でみられるようなリル・ガリーなどの形態による表面侵食は防止され、雨滴衝撃による土粒子の結合破壊が主な侵食営力となることが述べられている。

本研究により、熱帯モンスーン地域の常緑林においても、斜面傾斜10度の森林内においては、林内被覆があれば侵食はほとんど起きないことがわかった。今後は、傾斜30度のプロットNo2の結果と比較し、森林内の土砂移動における斜面傾斜の影響を明らかにする予定である。

#### 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及び科研費(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  
壁谷直記ほか (2019) 九州森林研究 72:51-55  
Kurashima T *et al.* (2015) Forest 6: 3087-3108  
塚本良則 (1998) 森林・水・土の保全—湿潤変動帯の水文地形学—, 朝倉書店, 138 p, 東京  
(2019年11月5日受付; 2019年12月13日受理)