

気候変動と土地利用変化が湿潤熱帯流域の洪水氾濫に及ぼす影響評価：インドネシア国スマトラ島における事例研究

Assessment of climate and land use change impacts on flood inundation in a humid tropical river basin: a case study of Sumatra island in Indonesia

○山本浩大・佐山敬洋・Apip・山本エヴァミアシスカ

○Kodai Yamamoto・Takahiro Sayama・Apip・Eva Mia Siska Yamamoto

This study assesses climate change impacts, applying rainfall dataset, that is dynamically downscaled by Regional Climate Model, to a hydrological model. In addition, future land use impacts were estimated by the model. Moreover, the oil palm mortality within three years after planting was estimated using the vulnerability curve for flood duration. The model shows that flood inundation volume, corresponding to 20-year return period, increases by 3.3 times in the future. In addition, this study shows climate change effect is more significant than land use change effect in a study area. As a result of increasing inundation duration, current oil palm plantation in peatland area, which consists of oil palms on higher peat surface, will have the higher mortality within three years after planting. These results suggested that adaptation measures for climate change should be taken to reduce flood risks and manage sustainable oil palm production in peatland area. (148 words).

## 1. はじめに

多くの低所得または低中所得の国々は熱帯に位置しており (Sach 2001)、深刻な森林伐採に直面している (FAO, 2015)。これらの国々は、経済開発を必要としており、将来、森林伐採が継続する可能性が高い。森林伐採は、水循環に変化を与え、洪水災害を増加する (Brujinzeel, 2004)。また、将来、気候変動が水循環を加速して、洪水災害が増加することが予測されている。(Hirabayashi et al. 2013)。経済発展を持続していくためには、熱帯地域の国々では、将来の洪水リスクを把握する必要がある。

湿潤熱帯地域の土は、高い温度と高い雨量により、土の侵食が速いため、土層が厚く (Vieira and Santos 1987)、透水性が高い (Tomasella and Hodnett, 2004)。そのため、湿潤熱帯地域の流出発生機構は、温帯地域と異なる可能性がある。ほとんどの水分モデルは温帯地域で開発されているため、湿潤熱帯地域での適用する際は、適切なモデル構造とパラメータを選択する必要がある。また、インドネシア海洋大陸では、大気循環モデルは、将来予測の不確実性が多く (Hi jioka, 2014)、空間解像度が高い領域気候モデル (RCM) がより適切である。しかしながら、RCM の出力値にもバイアス補正をする必要がある。

熱帯地域の河川流域では、下流に泥炭湿地が広範囲に広がっている。近年、オイルパーム開発による泥炭湿地の環境問題が懸念されている。また、気候変動や森林伐採により、下流の洪水氾濫が変化し、泥炭湿地や農地に影響する可能性がある。

本研究の目的は、気候変動と森林伐採を伴う土地利用変化が流域水循環と泥炭湿地における洪水氾濫に及ぼす影響評価をすることである。

## 2. 方法

### 2.1 データ

非静力学地域気候モデル (NHRCM) により、スマトラ島バタンハリ川流域 (42,960 km<sup>2</sup>) とその周辺にダウンスケーリングした 5km 解像度の降雨出力値を用いる。将来気候シナリオは、RCP8.5 を用いる。将来気候と現在気候の期間は、2079 年から 2098 年と 1980 年から 2000 年である。

参照データは、2000 年 2 月から 2014 年 2 月の GSMaP の再解析値 ver. 6 を用いる。また、グローバルデータを Penman-Monteith 式に入力し、推測した可能蒸発散量を用いる。

Landsat 衛星データに基づいた 1990 年の土地利用データと CLUE-s モデルを用い予測した 2040 年の土地利用データを用いる。

## 2.2 降雨流出氾濫モデルの適用方法

1km 解像度の降雨流出氾濫モデル (RRI モデル) を対象流域に適用する。湿潤熱帯流域における深い土層からの流出 (Kumagai et al. 2016) を考慮するために、RRI モデルの各格子に Green-Ampt モデルと地下水モデル (佐山ら、2015) を適用する。Green-Ampt モデルのパラメータは、Rawls et al. (1993) に基づき、FAO の土壌分類に従って空間分布させた。地下水モデルは、基岩を想定せず、側方の透水係数が、土の深さ方向に、指数関数的に減衰すると仮定している。地下水モデルのパラメータは、佐山ら (2015) の値を基に、河川流出を再現するように調整する。

## 2.3 バイアス補正

NHRCM の段階的に補正する。まず、将来気候のパーセンタイル毎に、現在気候と参照データの流域平均雨量の比を求めて、対応する将来の降雨量を補正する。次に、補正した日雨量の流域空間の標準偏差を参照データと合うように補正する。

## 2.4 土地利用変化の影響評価方法

土地利用データと GIS を用いて、1990 年の森林が 2040 年で他の土地利用 (農地、都市、荒地、低木地) に変化した場所を求める。土地利用毎における現地鉛直浸透試験の値より算出した比率を、Rawls et al. (1993) のパラメータにかける。

## 2.5 オイルパームの致死率の推定方法

表 1 の浸水期間と植林 3 年以内のオイルパームの致死率を線形補完して、被害関数を求める。RRI モデルの出力結果より、各年ごとの最大浸水期間を求め、被害関数を用い、各年ごとの致死率に変換する。それらの致死率の平均値を用い、3 年以内の致死率を求める。

表 1 浸水期間と 3 歳未満のオイルパームの致死率

浸水期間(日)	致死率 (%)
7	10
14	20
21	70
28	100

## 3. 結果と議論

図 1 は、将来気候と将来土地利用シナリオ毎の土地利用年最大氾濫量の累積分布関数 (CDF) を示している。現在気候と将来気候の CDF を比較すると、氾濫量が顕著に増加することがわかる。将来の気候では 20 年の再現期間に相当する氾濫量は、約 3.3 倍増加することがわかった。一方で、

将来土地利用と気候の両方を考慮した CDF と将来気候のみを考慮した CDF を比較すると、両者に明確な違いは見られなかった。

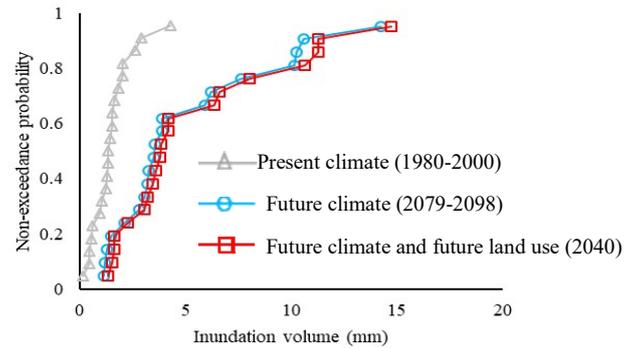


図 1 : 気候変動と土地利用変化の各シナリオの年最大氾濫量の累積分布関数 各色は、現在気候 (灰色)、将来気候 (青色) と将来気候と将来土地利用 (赤色) を示す。

図 2 は、現在気候と将来気候下の植林後 3 年以内のオイルパームの致死率マップを示している。現在気候と将来気候の比較により、将来、致死率 50% を超える領域が、泥炭ドームと呼ばれる微高地 (現在の主要なプランテーション農地) に拡大することがわかった。

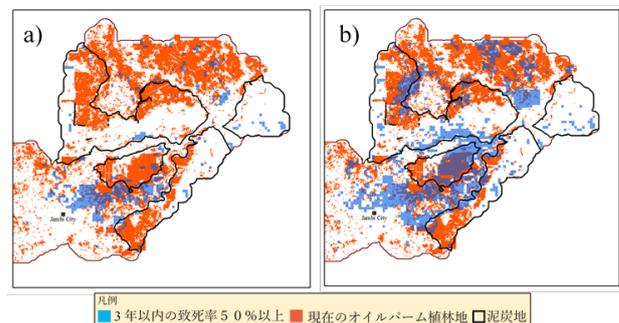


図 2 : 泥炭地、現在のオイルパーム植林地と洪水によるオイルパームの致死率マップ a) 現在気候 b) 将来気候。ここで、3 年以内に致死率が 50% 以上のみ示している。

## 4. 結論

気候変動と土地利用変化が流域水循環と泥炭湿地における洪水氾濫に及ぼす影響を分析した。対象流域では、気候変動の方が、土地利用変化に比べて、より顕著に洪水流出や氾濫に影響することが明らかになった。また、気候変動により、致死率 50% を超える領域が、泥炭ドームと呼ばれる微高地 (現在の主要なプランテーション農地) に拡大する可能性を示した。これらの結果により、気候変動による浸水リスクの増加を考慮した適応策の重要性を主張した。