

開発途上国における土地利用変化が洪水氾濫域に及ぼす影響の評価

米原慎・川崎昭如・竹内渉

Impact of Land Use Change on Flood Inundation Area in a Developing Country Shin YONEHARA, Akiyuki KAWASAKI & Wataru Takeuchi

Flood management is one of the most urgent problems in Southeast Asia. In this research, land use projection by GIS and statistical model, rainfall-runoff model and hydraulic model were integrated to analyze the impact of future urbanization and deforestation on flood vulnerability in a local scale. Based on land use scenarios, flood simulation was conducted. The results show that urbanization, deforestation and development of croplands will actually increase peak discharge during flood while reforestation will reduce it. In addition, it was revealed that reforestation is effective especially in downstream area where it has more rainfall than upstream area. Furthermore, the difference between the worst and best scenarios was estimated as 3.68km² in inundated area and approximately 1m flood depth in urban area. This result shows maximum difference in uncertain future. This integrated scheme would support land development plan or policy from the viewpoint of disaster risk reduction.

Keywords: 土地利用モデル(Land use model), 水文モデル(Hydrological model), システムダイナミクス(System dynamics)

1. はじめに

1. 1 背景と目的

2015年3月の第3回防災世界会議において採択された仙台防災枠組では、自然災害が持続可能な開発を阻害することが指摘された。特に、開発途上国においては今後、気候変動などの要因が水害をはじめとする災害リスクをさらに増大させ、その国の発展を阻害し貧困をより助長する可能性がある。災害による被害を軽減していくには、社会・経済開発のあらゆる面で防災の視点を導入する『防災の主流化』という基本認識を共有することが必要とされている(Aitsi-Selmi et al., 2016)。

本研究では、将来的な水害リスクの増大が予想される東南アジアの開発途上国において、防災を考慮に入れた土地利用計画の策定に資する情報を提供することを目的とする。そのために、リモートセンシングによる土地利用データとGISによる土地利用モデルの構築と洪水氾濫シミュレーションを行い、土地利用変化が洪水氾濫域に及ぼす影響を定量的に評価する。

1. 2 既往研究との関係

土地利用変化が洪水に与える影響を評価したものとしてLin et al.(2009), McColl & Agget(2007)などによる研究がある。これらは、土地利用モデルと降雨流出モデルを用いて土地利用変化が洪水ハイドログラフに与える影響を評価した。しかし、いずれ

も降雨流出解析までに留まっており、空間的な氾濫域解析までは行っていない。

土地利用モデルについては、データの乏しい開発途上国でも適用可能なものであることを重視して、川崎・高松(2014)やDang & Kawasaki(2015)が用いた、過去の土地利用変化傾向からロジスティック回帰モデルを構築する手法を用いた。

本研究は、土地利用モデルの構築に加えて、降雨流出解析および氾濫域の解析まで実施した点において新規性を有する。

2 対象地域

本研究ではミャンマー南部を流れマルタバン湾に注ぐバゴ川流域を対象地域とする。熱帯モンスーン地域に属するバゴ川流域は、ほぼ毎年洪水が発生する洪水常襲地域である。またその頻度と規模は年々深刻になっている傾向が見られ(Htut et al., 2014)、近年では2011年の洪水が過去47年間で最悪と報告されている。

バゴ川流域では人口増加や大規模な開発に伴い土地利用変化が生じることが予想され、洪水リスクがさらに増大すると考えられる。その影響を定量的に評価することは、今後の治水計画、土地利用計画、防災計画などを策定する際に有要である。

3. 手法

3. 1 概要

手法の全体像を図1に示した。本研究の手法は大きく、土地利用モデルの構築と洪水シミュレーションに二分される。

土地利用モデルの構築にあたっては、空間的な分析である【適地分析】と非空間的な分析である【土地利用別面積変化量】を分離して考えた。【適地分析】では、ある土地利用が増加する際の空間的な配置を分析する。具体的には、過去の【傾向分析】からロジスティック回帰モデルを構築し、新たな土地利用が生じる「変化確率」を地点ごとに分析した。さらに、【土地利用別面積変化量】については都市増加率、農地増加率、森林増加率、森林減少率の4つのパラメータを定義し計算した。最終的には【土地利用別面積変化量】の結果を【適地分析】に従って空間的に割り当てることにより、将来予測図を作成した。

さらに、得られた土地利用予測図を入力条件として、降雨流出解析と氾濫解析を行い、シナリオの比較検討を行った。

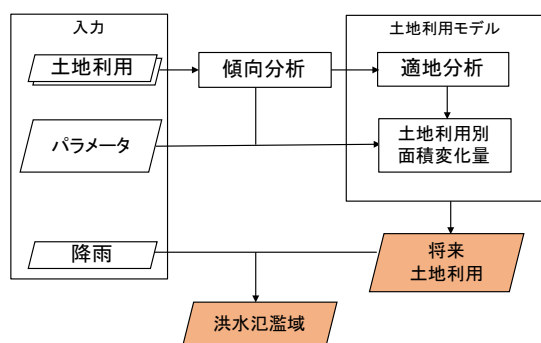


図1 本研究のフローチャート

3. 2. 使用したデータおよびソフトウェア

本研究に使用したデータは表1の通りである。なお、使用した土地利用データは、Oo et al.(2012)がMODIS(中分解能撮像分光放射計)により得られた観測データから土地被覆を自動生成し、現地調査により精度を検証したものである。土地被覆分類は全球を17項目に分類するIGBP(International Geosphere-Biosphere Programme)に基づいており、2002年から2015年にわたって年毎に作成した。

表1 使用した入力データの一覧

データ	データソース	解像度
雨量	緬国運輸省気象水文局(DMH)	1日
流量	緬国運輸省気象水文局(DMH)	1日
土地利用	MODISよりOo et al.(2012)作成	500m
土壌	国連食糧農業機関(FAO)	10km
DEM	米国地質調査所(USGS)	500m
道路	オープンストリートマップ	ベクター

3. 3. 土地利用モデルの構築

3. 3. 1. 傾向分析

本研究で使用した土地利用データは17種類に分類されていたが、流出モデルの入力データに必要な土地利用区分として、5種類に集約した(図2)。

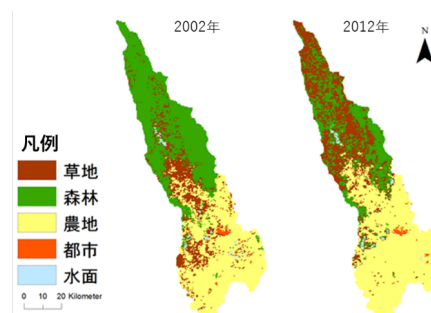


図2 再分類後の土地利用データ(2002年および2012年)

2002年から2012年までの変化の内訳としては【森林】から【草地】の888km²、【草地】から【農地】の378km²が大きな割合を占めていた。このことを踏まえて5つの土地利用カテゴリー間の将来の土地利用変化をモデル化した(図3)。すなわち2002年から2012年のうちで顕著であった【森林】→【草地】、【草地】→【農地】といった変化に加えて、将来的な市街地増加を考慮して【農地】→【都市】を加えた。ここで、既存の市街地の周縁部のほとんどが【農地】であるので、【農地】→【都市】と限定しても差し支えないとした。さらに、植林を意味する【草地】→【森林】も併せて考慮した。【水面】は将来的にも不変であると仮定した。

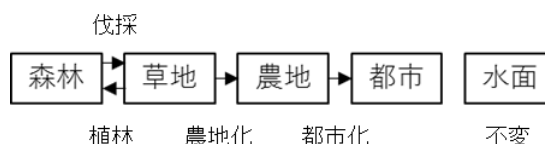


図3 土地利用変化モデル

3. 3. 2. 適地分析

はじめに、【森林】→【草地】、【草地】→【農地】についてロジスティック回帰分析による適地分析を行った。ここで、目的変数は2002年から2012年の間に変化が起こったか否かとし、変化が生じたセルを1、生じなかったセルを0とした。説明変数はAIC(赤池情報量基準)が最も小さくなるよう取捨選択を行い、以下の式を得た。

$$\begin{aligned} \text{logit}(P_{\text{森林} \rightarrow \text{草地}}) &= -0.16 - 4.5 \times 10^{-2} * \text{slope} + 2.6 \times 10^{-5} \\ &* \text{dis}_{\text{road}} - 1.9 \times 10^{-4} * \text{dis}_{\text{GR}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{logit}(P_{\text{草地} \rightarrow \text{農地}}) &= 3.1 - 4.0 \times 10^{-2} * \text{elevation} - 1.5 \times 10^{-4} \\ &* \text{dis}_{\text{road}} - 7.6 \times 10^{-4} * \text{dis}_{\text{AG}} \end{aligned}$$

ただし、

slope: 勾配(無次元数)

elevation: 標高[m]

dis_{road}: 道路までの距離[m]

dis_{GR}: 既存草地までの距離[m]

dis_{AG}: 既存農地までの距離[m]

である。この式を ArcGIS の[ラスタ演算]に組み込み適地マップを生成した(図 4 左および中)。ここでは、値が大きくなセルにおいて土地利用変化が起こる確率が高いことを意味する。

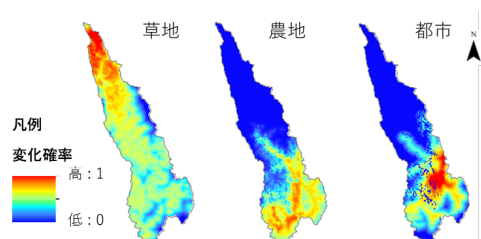


図 4 草地、農地および都市の適地マップ

続いて、【農地】→【都市】の適地分析を行う。過去の傾向が見られないため、統計的手法は適用不可能であるので、既存の道路や市街地への近接性と傾斜の大小を考慮した分析を行った(図 4 右)。

最後に、【草地】→【森林】については、特に植林政策による影響を大きく受けると考えられるが、ここでは簡易的に下流から【森林】を増加させるパターンを想定した。

3. 3. 3. 土地利用別面積変化量

各土地利用が占める面積の数量的変化を算出するために、図 3 の土地利用変化モデルをもとに STELLA 上で SD モデルを構築した(図 5)。この SD モデルでは森林増加率、草地増加率、農地増加率、都市増加率の 4 つの入力パラメータを自由に設定することで、任意の予測年度におけるそれぞれの土地利用分類の面積変化量を計算する。

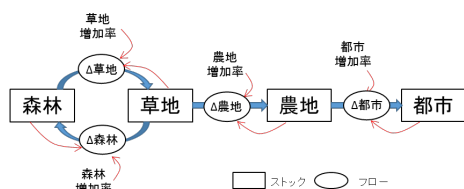


図 5 土地利用別面積変化 SD モデル

3. 3. 4. 現地調査による土地利用モデルの検証

2016 年を対象としたシミュレーション結果と現状の土地利用を比較することにより土地利用モデルを検証した。現地調査は 2016 年 2 月 16 日から 3 月 23 日にかけて実施し、流域内の様々な地点にお

いて、車窓をカメラで撮影し、土地利用種別を観測した。観測結果とシミュレーション結果を比較したところ、149 地点のうち 64%において土地利用種別が一致していた。

3. 4. 洪水シミュレーション

HEC-HMS および HEC-RAS の解析に用いた流出モデルデータは Zin et al. (2015)が作成したものに修正を加え使用した。

HEC-HMS による解析ではパラメータ CN(Curve Number)を変化させることにより土地利用シナリオを考慮した。

続いて、HEC-HMS による解析結果を境界条件として、HEC-RAS により非定常流解析を行った。

4. 結果と考察

4. 1. シミュレーション概要

考案したシナリオ(表 4)にはそれぞれ異なるパラメータを設定した。これらを土地利用モデルの入力として、2042 年時点での土地利用変化を予測した。

表 4 設定したシナリオとパラメータ

	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3
	大規模開発	中規模開発	積極的植林
都市増加率	15%	7%	0%
農地増加率	1%	0%	0%
森林減少率	10%	5%	0%
森林増加率	0%	0%	2.5%

4. 2. 結果

3 つのシナリオ(大規模開発、中規模開発、積極的植林)のもとの 2042 年時点における土地利用予測図を図 6 に示す。続いて、土地利用予測に基づく洪水シミュレーションの結果について、表 5 は浸水面積と浸水深の変化を示す。なお、浸水深はバギー市内の代表的な一点を選んで比較した。

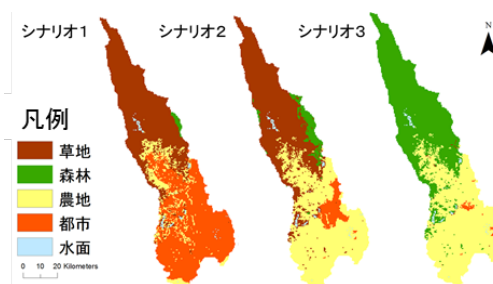


図 6 2042 年における土地利用予測図

表 5 シナリオ別の浸水面積と代表点の浸水深

	現状	将来シナリオ		
		1	2	3
浸水面積[km ²]	52.2	54.3	53.4	50.6
浸水深[m]	3.4	4.3	3.6	3.2

4. 3. 考察

最も被害が増大するシナリオ1と最も軽減されるシナリオ3を比較すると、浸水面積にして3.68km²、バゴー中心部における浸水深にして約1mの差が生じた。以上の結果から、バゴーにおける洪水被害を軽減する方策について考える。

森林の増減が洪水に与える影響の幅は大きく、上流の山間部の森林を維持することが木材資源として重要であるのみならず、洪水のリスクの増大防ぐことにも寄与することが示された。薪材としての利用や農地の開発と折り合いをつけ、持続的な森林管理をしていくことが必要である。一方で、森林の維持・回復による洪水の軽減効果のみに注目すると、2011年に起こったような大規模な洪水に対しては決して十分でないことも示された。それゆえ、森林保全を洪水対策の一つの手法として捉え、ダム・堤防などのハード面のインフラ整備、早期警報システムや土地利用規制といったソフト面の方策と組み合わせる必要がある。

5. おわりに

本研究では、衛星リモートセンシングによる土地利用データをベースとした土地利用モデルを構築し、複数の土地利用シナリオのもとで降雨流出解析、一次元水理解析を行い土地利用変化が洪水氾濫域に及ぼす影響を定量的に評価した。今後、経済発展に伴う大規模な開発の元で増大する可能性のある水害リスクを評価したことで、諸計画の策定に資する情報を提供できたといえる。また、本研究で用いた衛星画像と統計モデルにより土地利用モデルを構築する手法は、データに乏しい他地域でも適用できる。

本研究では洪水の外力の変化を評価するに留まったが、洪水による人的・経済損失を評価することが今後の課題である。この際は、高床式住居が多く、住民がある程度洪水に適応した生活を営んでいるなどといった地域特性をよく考慮したリスク算定手法を考える必要がある。

謝辞

現地調査ではヤンゴン工科大学 Win Win Zin 准教授を始め、多くの学生の方々にご支援いただきました。心より感謝の意を表します。

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構(JST)および独立行政法人国際協力機構(JICA)が共同実施する地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)事業の支援を受けて実施しました。

参考文献

- 川崎昭如・高松正嗣 (2013) 水資源政策支援のための土地利用の将来予測ツールの開発: メコン川3S 支流域での水需要予測のケーススタディ。「GIS—理論と応用」, **21**(1), 65-76.
- Aitsi-Selmi, A., Murray, V., Wannous, C., Dickinson, C., Johnston, D., Kawasaki, A., Stevance, A.-S., Yeung, T., et al. (2016) Reflections on a science and technology agenda for 21st century disaster risk reduction. Based on the scientific content of the 2016 UNISDR Science and Technology Conference on the Implementation of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. *International Journal of Disaster Risk Science*, **7**(1), 1-29.
- Dang, A. N., & Kawasaki, A. (2014) The integrated modelling approach for land-use change projection, Case-study in DakLak, Vietnam. *生産研究*, **66**(4), 359-367.
- Htut A. Y., Shrestha S., Nitivattananon, V., & Kawasaki, A. (2014) forecasting climate change scenarios in the Bago river basin, Myanmar. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, **5**(9).
- Lin, Y. P., Verburg, P. H., Chang, C. R., Chen, H. Y., & Chen, M. H. (2009) Developing and comparing optimal and empirical land-use models for the development of an urbanized watershed forest in Taiwan. *Landscape and Urban Planning*, **92**(3-4), 242–254.
- McColl, C., & Aggett, G. (2007) Land-use forecasting and hydrologic model integration for improved land-use decision support. *Journal of environmental management*, **84**(4), 494-512.
- Oo, K.S., Takeuchi, W., & An, V. N. (2012) Elimination of yearly validation from MODIS global land cover product. 第21回生研フォーラム「広域の環境・災害リスク情報の収集と利用」, 2012年3月12日.
- Zin, W.W., Kawasaki, A., & Shelly, W. (2015) River flood inundation mapping in the Bago river basin, Myanmar. *Hydrological Research Letters*, **9**(4), 97-102.