

フィリピン・ラグナ湖周辺における流出解析の ための土地利用モデルの開発 ーシラン・サンタロサ川流域における 氾濫解析の事例紹介ー

大西 暁生¹・北野 瑛詩²・遠藤 功³・Brian A. Johnson⁴・
Milben A. Bragais⁵・Damasa B. Magcale-Macandog⁶・河合 真之⁷

¹正会員 横浜市立大学教授 データサイエンス学部 (〒236-0027 横浜市金沢区瀬戸 22-2)
E-mail: onishi@yokohama-cu.ac.jp

²非会員 東京都市大学学部生 環境学部 (〒224-8551 横浜市都筑区牛久保西 3-3-1)
E-mail: g1561040@tcu.ac.jp

³非会員 Asian Development Bank (6 ADB Avenue, Mandaluyong City, 1550 Metro Manila, Philippines)
E-mail: iendo@adb.org

⁴非会員 地球環境戦略研究機関 (〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口 2108-11)
E-mail: johnson@iges.or.jp

⁵非会員 University of the Philippines Los Baños (College, Laguna Philippines)
E-mail: mabragais@gmail.com

⁶非会員 University of the Philippines Los Baños (College, Laguna Philippines)
E-mail: dmmacandog@up.edu.ph

⁷非会員 地球環境戦略研究機関 (〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口 2108-11)
E-mail: kawai@iges.or.jp

近年、気候変動の進展に伴い、世界各地で洪水や渇水が頻発している。とりわけ途上国において問題が発生した場合、経済的な損失だけではなく、人命や健康に直結する被害が懸念され、特に上下水道や堤防、またダム機能等の水を供給・制御するインフラが未整備であればある程、こうした水に関わる問題が悪化することになる。そのため、気候が厳しい地域、もしくは極端な異常気象の発生が懸念されている地域、特に途上国を中心にいかにこのような自然条件に適応していくのかといったことが課題となる。また、多くの途上国では、将来、急速に人口が増加することも予測されており、都市とその周辺部において開発が進められれば土地利用が大きく改変されることになり、これがまた河川の流出等にも影響を与える。本研究ではフィリピン・ラグナ湖周辺を対象に、気候変動や土地利用の改変による河川流出への影響を分析するため、まずは入手できた限られたデータをもとに土地利用モデルを開発する。また、シラン・サンタロサ川流域を対象に土地利用変化を加味した河川流量を推計することで、氾濫域の状況について考察する。今後、本研究では対象流域を増やし、また出来る限りモデルを高度化させることによって、より具体的な気候や人為的要素による影響を加味しながら、緩和・適応策のあり方を模索していく予定である。

Key Words: land use model, population, runoff analysis, Laguna lake, Silang-Santa Rosa river

1. はじめに

気候変動に伴い、世界各地で洪水や渇水が頻発している。とりわけ発展途上国において問題が生じた場合、人命や健康、また経済に多大な被害を与えることが懸念され、特に水を供給・制御するためのインフラが整ってい

なければ、問題はさらに悪化する。そのため、気候の変化に脆弱な地域、また極端な異常気象が懸念されている地域、そして経済的にも困窮するような地域を中心にどのように自然条件に適応していくのかといったことが大きな課題となる。フィリピンでは、将来、人口が増加し経済成長することによって、都市とその周辺部において

大規模な開発が進められることが予想される。そして、これによって土地利用が大きく改変され、これが河川の流出に影響を与える可能性がある。そして、これが雨季における洪水を助長することにもつながる。

本研究ではフィリピン・ラグナ湖周辺を対象に、気候変動や土地利用の改変による河川流出への影響を分析するため、入手可能なデータを用いて、将来の土地利用の変化を表すモデルを開発する。さらに、シラン・サンタロサ川流域を対象に、将来の土地利用変化を考慮した河川流量を推計することによって氾濫域の状況について考察する。本論文は、あくまでも土地利用モデルの開発の状況とその一事例を示すことで、筆者らがどのような検討を試みているのかを紹介するものである。

2. 推計方法

本研究では、将来の人口動態について自然増減の条件を変更した3つのシナリオを作成し、それをもとにコーホート要因法を用いて推計した。さらに、得られた人口動態から世帯数を算出し、将来の土地利用を詳細な空間単位で把握した。以降にこの推計方法を記す。

(1) 人口の推計方法

将来人口は、2010年から2100年までの期間をコーホート要因法を用い、最小の行政単位であるバラングイごとに5年間隔で推計した。コーホート要因法とは、各集団すなわちコーホートごとに、「自然増減(出生と死亡)」及び「純移動(転出と転入)」という2つの「人口変動要因」を考慮し、それぞれの将来動向を考慮しながら人口を推計する手法である⁴⁾。

本研究では2010年と2015年を推計の基準年としたが、男女5歳階級別の人口データはバラングイごとに公開されていないため、次の方法を用いた。2010年のバラングイごとの男女5歳階級別の人口データは、PHILIPPINE STATISTICS AUTHORITY²⁾における2010年のバラングイの総人口のデータをPHILIPPINE STATISTICS AUTHORITY²⁾における2010年の州ごとの「Household Population(病院などで居住している人を除いた人口)」の男女5歳階級の人口割合によって割り振った。2015年のバラングイごとの男女5歳階級別の人口データは、PHILIPPINE STATISTICS AUTHORITY²⁾における市ごとの男女5歳階級別人口をもとに、2015年のそれら市に属するバラングイの総人口をもとに推計した。

コーホート要因法には、これら人口データに加え、自然増減である死亡率(1-生存率)、出生比、合計特殊出生率、また

社会増減である純移動率のデータが必要となる。

本研究では、将来の人口動態を複数想定するためにBAU (Business As Usual)、Scenario High、Scenario Lowをシナリオとして設定した。ここでは、合計特殊出生率のみ値を変え、その他は同じ条件で推計した。BAUにおける合計特殊出生率の値は、国連人口推計³⁾によるフィリピンのシナリオのうち、中位と低位の中間に当たる値を採用した。Scenario Highにおける合計特殊出生率は、国連人口推計³⁾によるフィリピンのシナリオのうち、その中位の値を採用した。Scenario Lowにおける合計特殊出生率は、国連人口推計³⁾によるフィリピンのシナリオのうち、その低位の値を使用した。

死亡率は、国連人口推計³⁾による生存率シナリオの中位の値を採用し、1からこれを減じた値を用いた。出生比は、PHILIPPINE STATISTICS AUTHORITY²⁾の2015年の出生比を2100年までそのまま用いた。純移動率は、次の方法で算出した。まず、2010年の男女5歳階級別人口に国連人口推計³⁾のフィリピンにおける2010年の男女5歳階級別の生存率を乗じることによって、同年の封鎖人口を算出する。次に、2015年の人口データと2010年の封鎖人口の差から純移動数を求める。この純移動数を2015年の人口データで除すことで純移動率を得た。ただし、ここで算出した純移動率はばらつきが大きいので、四分位数をもとに修正した。この対象地は、将来発展することが予測される。そのため、2100年の純移動率が現在の日本の純移動率と同等になると仮定した。そのため、上記の算出した純移動率から国立社会保障・人口問題研究所⁴⁾の2010年における北海道の純移動率に2100年までになると仮定し、線形で変化させた。

(2) 世帯数の推計方法

世帯数は、シナリオごとに算出された男女5歳階級別の人口に市ごとの年齢層世帯主率を乗じることでバラングイごとに算出した。市ごとの年齢層世帯主率は、PHILIPPINE STATISTICS AUTHORITY²⁾の市ごとの年齢層別世帯主数を2015年の人口データで除すことによって算出した。

(3) 土地利用の推計方法

上記までで算出した人口や世帯数を用いて、将来の土地利用を推計した。元となる土地利用データは、National Mapping and Resource Information Authority⁵⁾の2015年のものである。表-1に、土地利用データの分類を示す。この分類をもとに自然的土地利用と都市的土地利用に区分した。この際、陸水と湿地は除外した。

そして、人口や世帯数が将来にわたり変化することで都市的土地利用の面積を逐次推計した。まず、2015年のバラングイごとの都市的土地利用の面積を推計する。そして、2015年の各バラングイの世帯数でこれを除すことで一世帯当たりの都市的土地利用の面積を算出した。次に、各年の

表-1 土地利用

自然的土地利用	
単年生作物農地 Annual Crop	多年生作物農地 Perennial Crop
雑木林・低木 Bush/Shrubs	疎林 Open Forest
閉鎖林 Closed Forest	牧草地 Grassland
空き地・荒野 Open/Barren	マングローブ Mangrove
養魚地 Fishpond	—
自然的土地利用 (開発対象外)	
陸水 Inland Water	湿地 Marshland
都市的土地利用	
都市 Built-up	

世帯数に、前述の 2015 年の一世帯当たりの都市的土地利用の面積を乗じることで 2100 年までの都市的土地利用の面積を推計した。算出された都市的土地利用の面積を 450m メッシュごとにまとめることで、各メッシュの都市的土地利用の面積割合を求めた。

この都市的土地利用の面積を用いて、各分類の土地利用の面積の変化は次の方法で求めた。都市的土地利用の面積が増加した場合は、同じメッシュ内の自然的土地利用の面積を減ずることとした。ただし、都市的土地利用の面積がそのメッシュの面積を超えた場合は、その量を同じ州に属している他のメッシュの自然的土地利用の面積から減じることに対処した。具体的には、超過した量を州の各メッシュの自然的土地利用の面積比率をもとに割り当て、メッシュごとにその量を自然的土地利用の面積から差し引くことで求めた。ただし、都市的土地利用が含まれるメッシュを優先し自然的土地利用の面積を減じている。

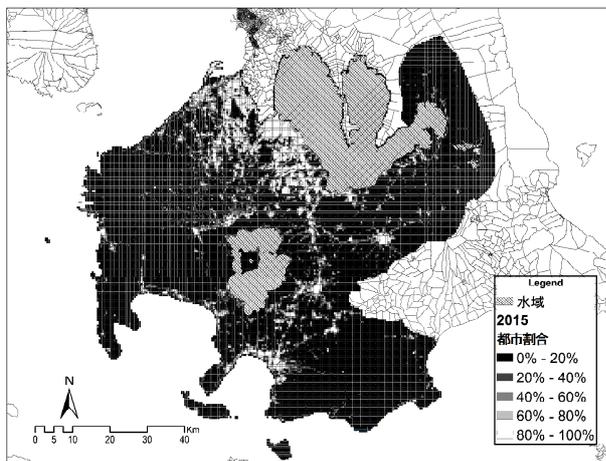


図-1 都市的土地利用の面積割合(現状)

3. 推計結果

ここでは、都市的土地利用の推計結果のみを説明する。

図-1 は、世帯数から算出した現状の都市的土地利用の面積割合を示したものである。ここでは、どちらかというと、ラグナ湖の南西部において都市が集中していることが分かる。また全体的に道路が通っている場所を中心に都市が広がっている傾向が見られる。図-2 に、2100 年までの都市的土地利用の面積割合を示す。図-3～図-5 には、2100 年におけるシナリオ別の都市的土地利用の面積割合を示す。この結果、現状の都市的土地利用の面積は全体の 15%を占めているものの、2100 年における BAU と Scenario Low においては各々約 38%と 31%に増加する結果となった。また、最も人口や世帯数の増加が大きい Scenario High においては、2100 年には約 45%が都市的土地利用となり約 17 万 ha の自然的土地利用が開発される結果となった。特に、湖東のラグナ州は開発が顕著であり、すべてのシナリオにおいて都市が拡大している。また、ラグナ湖の沿岸の大半でも開発が行われる。これは、都市周辺において単年生作物や多年生作物の農地が都市に開発されることが原因であると推察される。ただし、これはあくまでも本研究で開発した土地利用モデルの前提が大きく関わっており、今後、更なる検討が必要であ

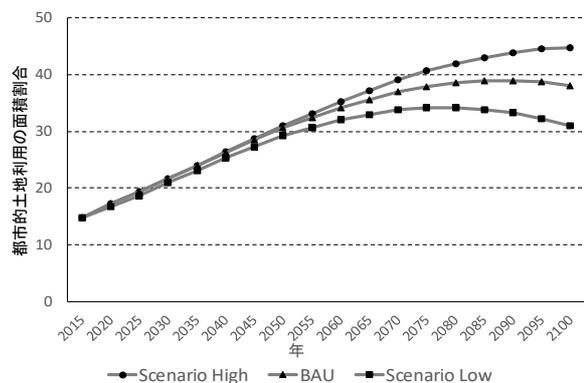


図-2 時系列的な都市的土地利用の面積割合の変化

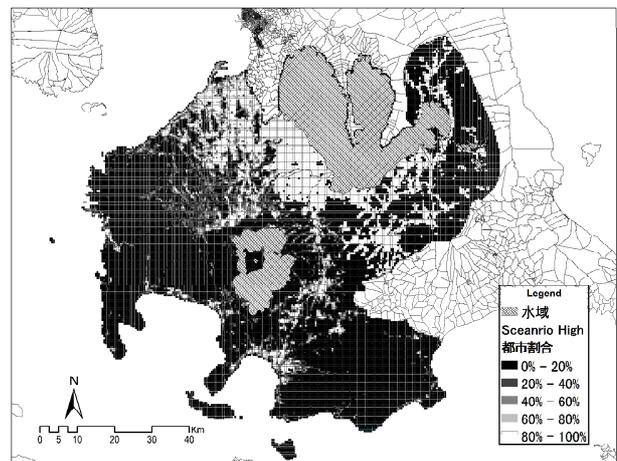


図-3 都市的土地利用の面積割合(将来:Scenario High)

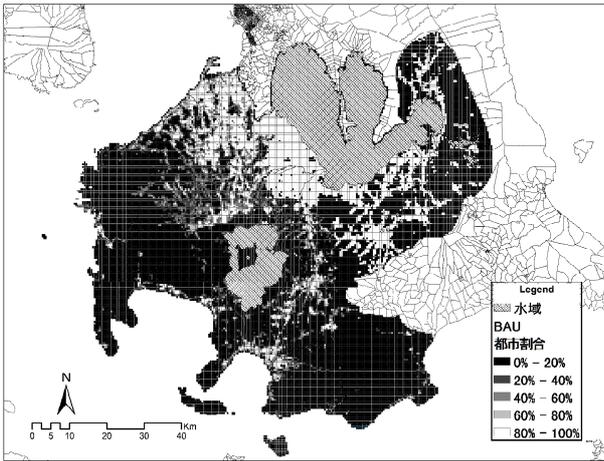


図-4 都市的土地利用の面積割合(将来:BAU)

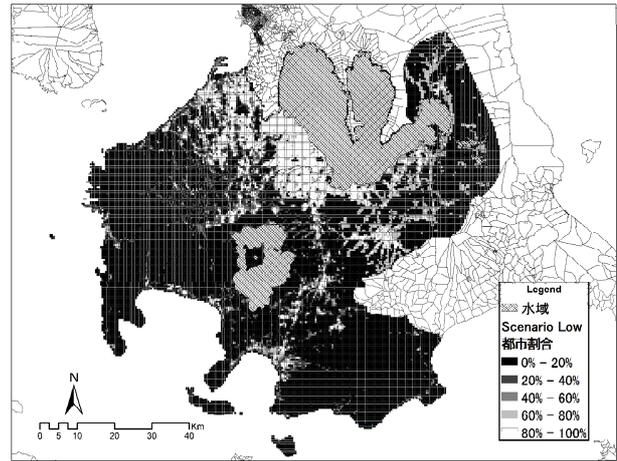


図-5 都市的土地利用の面積割合(将来:Scenario Low)

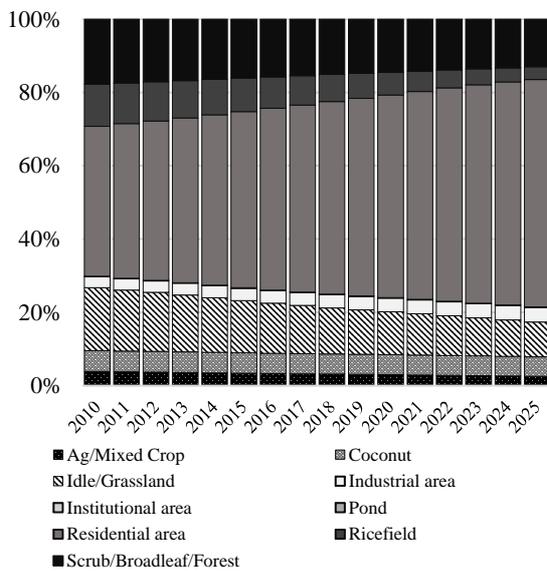


図-6 シラン・サンタロサ川流域における土地利用変化の推計結果

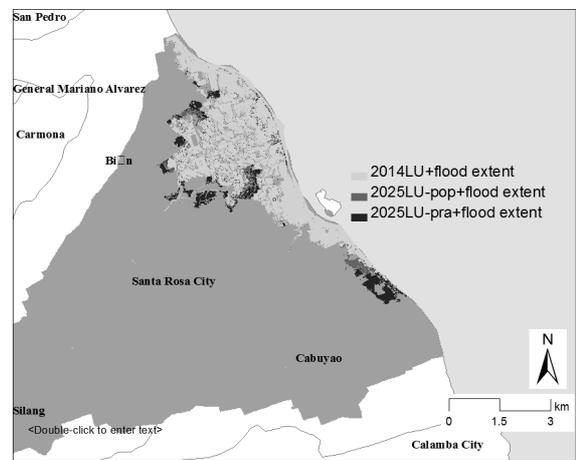


図-7 シラン・サンタロサ川流域における洪水氾濫域解析の結果

る。

4. シラン・サンタロサ川流域における氾濫解析の事例紹介

ここでは、前章までの土地利用モデルと概ね同様のコンセプトであるものの、シラン・サンタロサ川流域のみを対象に開発されたモデルを用いた。人口推計の方法や、対象期間（2025 年まで）、元になった土地利用図等が異なる。ここでは、こうした推計方法の詳細を割愛し、人口、土地利用変化、洪水氾濫域の推計結果を中心に紹介する。

まず、流域内の人口は 2010 年において約 52 万人であったが、2025 年には 101 万人まで増加した。また、2010 年におけるシランの人口は 1.9 万人、ピニャンは 6.0 万

人、カブヤオは 16.1 万人、サンタロサは 28.4 万人であった。これらが、2025 年にはそれぞれ 3.3 万人、7.8 万人、57.4 万人、32.2 万人に増加した。

次に、シラン・サンタロサ川流域における土地利用変化の推計結果を図-6 に示す。この結果、住宅地（Residential area）が増加しており、2010 年の 41%から 2025 年の 62%になった。特に、下流域の西に位置するカブヤオにおいて増加した。森林は他方、2010 年の 18%から 2025 年の 13%に減少した。

図-7 に、HEC（Hydrologic Engineering Centers, 米国工兵隊水文工学センターのソフトウェア）による洪水氾濫域解析の結果を示す。この結果、2014 年の洪水氾濫域は 9.52km²であったものの、2025 年の人口推計をもとにした土地利用（2025LU_pop+flood extent）は 9.84km²となり、また流域内の自治体の職員と作成した将来の土地利用図、すなわち参加型手法による土地利用（2025LU_pra+flood extent）によるそれは 11.62 km²となった。とりわけ、南西と南東の方角に氾濫域が広がったことが分かる。ただ

し、氾濫域の面積は用いた行政区と浸水域の GIS データに多少のズレが生じたため、一部氾濫域が湖上に広がっていた。そのため、この湖上の氾濫域は含めないこととした。

5. おわりに

本研究では、フィリピン・ラグナ湖周辺を対象に、将来の土地利用の変化を推計した。土地利用は、都市やその周辺部を中心に、自然的土地利用を開発し都市的土地利用に転用することで変化するものと考えられる。そして、これが洪水の危険性を高める恐れがある。この一事例をシラン・サンタロサ川流域における河川流出量と氾濫域の推計を示すことで概観した。

将来、気候変動と人為的な影響による洪水等の発生をいかに緩和・適応していくのかを十分に検討しながら、都市開発等を行っていくことが望まれる。

本研究では、限られたデータを用いて将来の土地利用を推計した。そのため、ここで得られた結果は、あくまでも暫定的な結果である。また、今回開発したモデルは非常に簡易なものであり、具体的にどのような場所が今後、開発されていくか等は十分に検討できていない。特に、開発は政策的な意図等が多分に含まれるため、今後は地元自治体とも協力しながら、実情にあった土地利用モデルの開発を目指したい。

謝辞：本研究は、文部科学省委託事業統合的気候モデル高度化研究プログラムおよび平成 28 年度・平成 29 年度環境省アジア太平洋地域における気候変動適応分野の知見共有、人材育成支援業務の支援を受けて実施され、本論文の一部内容は同平成 28 年度環境省業務の報告書を基に作成している。

参考文献

- 1) 厚生労働省, 地域行動計画策定の手引き, 財団法人 こども未来財団, 平成 15 年 8 月, <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/seisaku/syousika/030819/2b.html>, 2018 年 4 月 23 日最終閲覧
- 2) PHILIPPINES STATISTICS AUTHORITY, <http://www.psa.gov.ph/>, 2018 年 4 月 23 日最終閲覧
- 3) World Population Prospect (国連人口推計) <http://www.un.org/en/index.html>, 2018 年 4 月 23 日最終閲覧
- 4) 国立社会保障・人口問題研究所 <http://www.ipss.go.jp/index.asp>, 2018 年 4 月 23 日最終閲覧
- 5) National Mapping and Resource Information Authority, <http://namria.gov.ph/>, 2018 年 4 月 23 日最終閲覧

(2018. 4. 27 受付)

DEVELOPMENT OF LAND USE MODEL FOR RUNOFF ANALYSIS AROUND LAGUNA LAKE IN PHILIPPINES — A CASE OF OUTFLOW ANALYSIS IN SILANG-SANTA ROSA RIVER SUBWATERSHED —

Akio ONISHI, Eishi KITANO, Isao ENDO, Brian A. JOHNSON, Milben A. BRAGAIS, Damasa B. Magcale-MACANDOG and Masayuki KAWAI

Floods and droughts frequently occur in many parts of the world in recent years, and are increasing in some regions due to climate change. Especially in the cases of flooding and drought in developing countries, not only do large economic losses occur, but also human life and health are affected. Therefore, adapting cities and towns to better handle such natural conditions is important. It is also predicted that the population will rapidly increase in many developing countries, so land use will also change drastically if development progresses in the city and its surrounding areas. These land use changes will affect the rainfall-runoff characteristics of the land, which may further exacerbate flooding and drought. In this study, we attempted to analyze the influence of future climate change and land use change on river discharge around the Laguna Lake in Philippines. Therefore, we first developed a land use model using the available spatial and socioeconomic data. Moreover, by analyzing the river discharge considering land use change in the Silang-Santa Rosa river basin, we analyzed the situation of the extent of flooding area.