

## 審査の結果の要旨

氏名 スリータラーピパット タナコーン

本論文は、洪水と地震脆弱性を考慮したミャンマーヤンゴンの都市成長予測モデルに関する学術論文である。自然災害は人間と財産に大きな被害をもたらすが、気候変動の影響によって災害の被害と頻度が増大しつつあることが指摘されている。特に、人口密度の高い都市部で災害が発生した場合、直接的および間接的に大きな被害が予測され、その影響は都市のみにとどまらず、国全体に広がる可能性がある。今後の災害被害軽減のためには、防災、災害対策、災害救助、災害復旧などの総合的な災害リスク管理が必要である。都市の災害リスクは、危険性、脆弱性、機能の観点から表現することができ、災害の軽減にはこれらの評価を行う必要がある。世界的に大都市への人口集中が進みつつあるが、データ利用の観点から、アジアやアフリカなどの新興国での災害リスクの評価と削減に必要な検討が十分なされているとはいえない状況である。

本研究では、毎年のように大規模な洪水に見舞われているミャンマー国最大の経済都市であるヤンゴン市を取り上げ、リモートセンシング技術を用いた都市の発展と都市の将来予測モデルを用いて、都市の災害リスク評価を行い、軽減の方策を提示することを目的とする。災害脆弱性の評価対象は、洪水とともに、1930年以來大規模な地震は発生していないが、今後のリスク増大が見込まれている地震を対象とする。

まず、ヤンゴンの都市動態を把握するために、1978年から2015年までに観測された地上解像度30mのLandsat画像を用いて、土地利用図を作成した。その結果、ヤンゴンの都市域は1978年の38 km<sup>2</sup>から2015年の289 km<sup>2</sup>へとおよそ7倍に増大していることが明らかとなった。次に、2013年に観測されたステレオGeoEye画像を使用して建物の高さを抽出し、NPOESS VIIRSの夜間光データを援用することにより、商業地、工業地、居住地といった建物を分類した。その結果、ヤンゴンの建物の15%が商業地、5%が工業地、80%が住居地に使用されていることが推定された。リモートセンシングから推定した建物高さ、利用区分の分類結果は、2016年3月と9月に実施した現地調査によって3000棟の建物に対して検証を行った。その結果、倒れこみ誤差の大きい30m以上の高層ビルの高さ推定精度が30%程度過小評価になることが確認されたが、ヤンゴンの大部分を占める3階以下の住居地においては、83%以上の推定精度を有することが確認された。

次に、ヤンゴンにおける洪水脆弱性を、土地被覆タイプ、標高、勾配、土壌タイプ、流入、排水ネットワークからの距離といった複数の基準を算出し、過去の洪水履歴との

関係を経験的モデルで表現した。洪水履歴は、MODIS 可視画像の地表面反射率から 8 日ごとに雲なし合成画像を作成し、算出された冠水指数から 2001-2015 年の洪水域を推定した。次に、地震脆弱性を、土壌タイプ、勾配、建物の高さ、建物の年代といった複数の基準を算出し、過去の地震動に対する脆弱性曲線を援用して半経験的なモデルを用いて計算した。最後に、建物の種類、土地利用の変化、標高、鉄道、道路からの距離を用いて、土地価格図を推定した。

次に、ヤンゴンにおける将来の都市の広がり、動的統計モデルを用いた予測を行った。都市の広がりを規定する要因として、複数存在する都市中心地からの距離、過去の都市域からの距離、道路からの距離、鉄道からの距離、標高を選定し、リモートセンシングから得られた過去の都市分布図を被説明変数にして最尤法によって推定した。その結果、およそ 85%の精度で過去の土地利用を再現可能な都市拡張モデルを作成することに成功した。先に得られた洪水脆弱図、地震脆弱図、JICA によって作成された将来の都市計画マスタープランをモデルに導入することにより、これらの脆弱性やマスタープランを考慮した場合とそうでない場合のリスク評価を行い、域内総生産(GRDP)と連動させた土地価格図を用いて、2040 年までの経済損失を算出した。シミュレーション結果から、洪水リスク軽減策を採用することにより、2020 年から 2040 年までの経済損失は 70 億円減少し、地震リスク軽減策を採用することにより、2020 年から 2040 年までの経済損失は 80 億円減少するとの試算結果を導いた。

発展途上国では、都市の災害に対する脆弱性を評価するための計測データが驚くほど少ない中、性能の異なる複数の衛星計測から得られる可視赤外の反射率、ステレオ計測、夜間光などのデータセットを用いて、土地利用、建物の高さ、過去の洪水履歴、地形に関する情報を網羅的に収集し、これらを効果的に組み合わせて統計的なモデリングを行うことにより、ミャンマーヤンゴンを対象にした都市の成長予測モデルを構築した。従来の手法に比べて広域に、様々な洪水と地震脆弱性やマスタープランに関する情報を入力値として、複数のシナリオを想定した都市発展モデルの出力と経済的評価が可能になる点で、本研究で提示する手法は優位性が認められる。また、災害に対する脆弱性に関する情報が得られにくい他の発展途上国の大都市にも応用可能な、中長期的な都市計画に組み込むことのできる一連の手法とデータセットを開発した点で、工学的な有用性も高く評価することができる。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。