ミャンマー・デルタ地域における洪水時の被害想定モデルの考察

○内山　忠 *1, 本間里見 *2, 位寄和久 *3
上野新矢 *4, 荒巻充貴紘 *5

Keywords : 防災　GIS　浸水想定　画像解析　数値標高モデル

1. 研究の背景と目的

ミャンマー連邦共和国において、国土の北部は山岳地帯、西部・南部は海に囲まれ、国土中央には大河が流れるなど豊富な自然を有している反面、地震やサイクロン、水害などの様々な自然災害が発生している。2008 年 5 月にサイクロン・ナルギスがエーヤワディ（Ayeyawady）管区に上陸し、ヤンゴン（Yangon）管区へ進みタイへ抜けた。ミャンマー南西部の海岸から内陸にかけて広域に高波と暴風で甚大な被害となった。2015 年 7 月にはバングラデシュにサイクロン・コメンが上陸したため、ミャンマーの北西部で記録的な大雨となり、チンドウィン川（Chindwin Myit）流域やエーヤワディ川流域などの地域で大洪水が発生し、広範囲な大規模災害となった。また、毎年雨季による雨によっても河川が氾濫しており、自然災害に対する防災・減災の観点での地域開発の重要性が高まっている。

そこで、本研究では、発展途上国の地方都市および農村集落に発生する自然災害（サイクロン及び豪雨水害）に対し、自立的で持続可能な避難･減災計画手法を開発し、途上国の地方都市及び農村集落に適した途上国型レジエンス評価モデルを構築することを目標としている。

構築する途上国型レジリエンスモデルは図 1 の様に被害想定モデルと避難・減災モデルで構成し、それぞれ 4 つの研究モジュールで取り組んでいる。

本報告では、図 1 の被害想定評価モデルの構築を進めていく上で、ミャンマーにおける大洪水（2015 年）の被害状況把握し画像解析による被害想定ベースマップ作成の浸水想定や精度を検討する事、エーヤワディ地方域の首府である Pathein（パテイン市）を対象地域として、居住地域レベル（ward 区分）での浸水想定をおこない、防災施策の問題点の抽出や被害想定評価モデルについて検討をおこなう事を目的とする。

2. 研究方法について

以下の手順をおこない、ミャンマーの管理体制の把握、浸水想定の検討や被害想定評価モデルの検討をおこなう。

1) ミャンマーの行政区や CENSUS[1] による人口から研究対象地域について理解を深め、ベースマップを作成する。
2) パテイン市の河川・道路・施設を航空写真からトレースし、居住地域レベルでのベースマップを作成する。
3) JAXA が公表したミャンマーにおける大洪水（2015 年）の浸水想定エリアを示す画像[2] と ASTER 全球 3 次元地形データ（ASTER GDEM）[3] により、エーヤワディ地方域の浸水想定標高値を設定する。
4) ASTER GDEM の地形データと浸水想定の設定からパテイン市の居住地レベルでの浸水シミュレーションをおこ

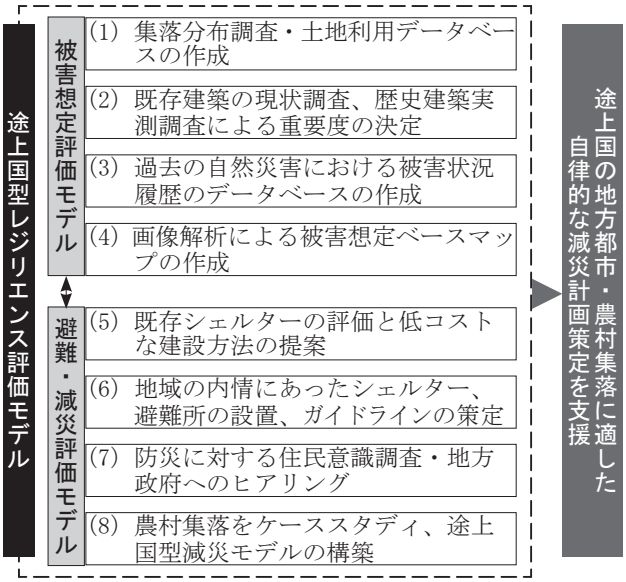


図 1　途上国型レジリエンス評価モデルの構築

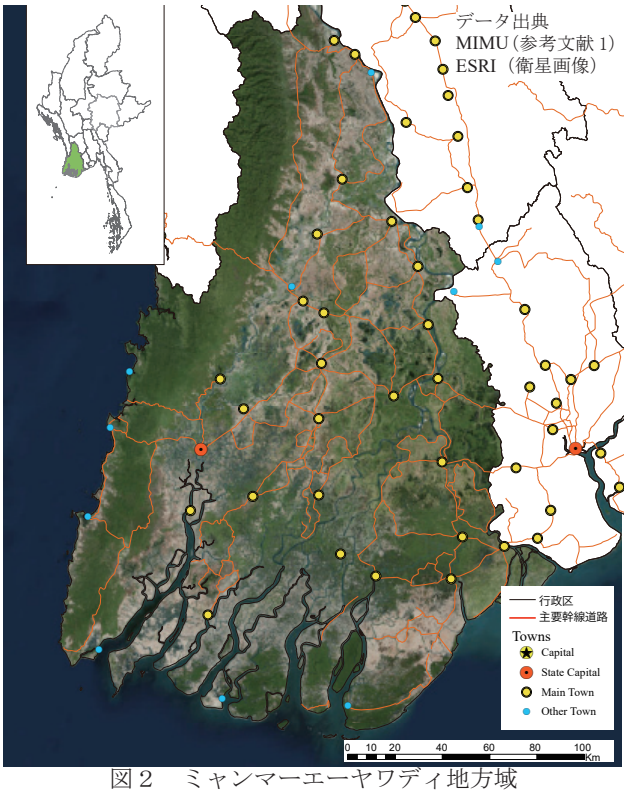


図 2　ミャンマーエーヤワディ地方域

表１　ミャンマー　State/Region の人口および世帯数（CENSUS 2014）

State/Region（州・地方域）	Capital（州都・首府）	Population（人口）	HouseHold（世帯）	District（県の数）	Township（群区の数）
Kachin（カチン州）	Myitkyina（ミッチーナー）	1,642,841	269,365	4	18
Kayah（カヤー州）	Loikaw（ロイコー）	286,627	57,274	2	7
Kayin（カレン州）	Hpa-An（パアン）	1,504,326	308,041	4	7
Chin（チン州）	Hakha（ハッカ）	478,801	91,121	3	9
Sagaing（サガイン地方域）	Sagaing（サガイン）	5,325,347	1,096,857	9	37
Tanintharyi（タニンダーリ地方域）	Dawei（ダウェー）	1,408,401	283,099	3	10
Bago（バゴー地方域）	Bago（バゴー）	4,867,373	1,142,974	4	28
Magway（マグウェ地方域）	Magway（マグウェ）	3,917,055	919,777	5	25
Mandalay（マンダレー地方域）	Mandalay（マンダレー）	6,165,723	1,323,191	7	31
Mon（モン州）	Mawlamyine（モーラミャイン）	2,054,393	422,612	2	10
Rakhine（ラカイン州）	Sittwe（シェトウェ）	2,098,807	459,772	5	17
Yangon（ヤンゴン地方域）	Yangon（ヤンゴン）	7,360,703	1,582,944	4	45
Shan（シャン州）	Taunggyi（タウンジー）	5,824,432	1,169,569	14	55
Ayeyarwady（エーヤワディ地方域）	Pathein（パテイン）	6,184,829	1,488,983	6	26
Nay Pyi Taw（ネピドー連邦領）	Nay Pyi Taw（ネピドー）	1,160,242	262,253	2	7
合計		50,279,900	10,877,832	74	332

なう。

5) 浸水シミュレーションの考察から作成したマップの精度や被害想定評価モデルとして有効かを検討する。

３．ミャンマーと研究対象地域について

本研究ではミャンマー南部にあるエーヤワディ地方域（図２）の首府 Pathein（パテイン）市の行政区を研究対象地域とする。

3-1. ミャンマーの行政構造について

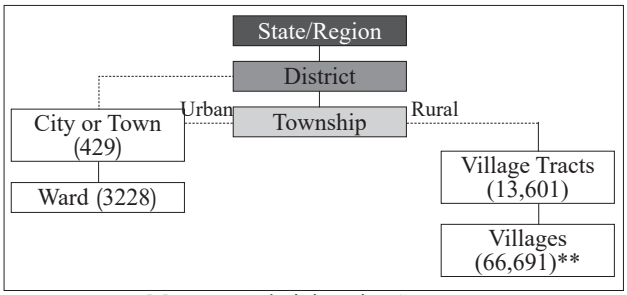
ミャンマーは７つの州（State）と７つの地方域（Region）に分かれており、１つの連邦直轄領が定められている。連邦直轄領は首都であるネピードーであり、経済の中心地は旧首都ヤンゴンである。これらの州・地方域はいくつかの県（District）から構成され、県はいくつかのタウンシップ（Township）から構成される。タウンシップの下では「Urban」と「Rural」に分かれ、「Urban」の行政区は市（City or Town）と言い、いくつかの区（Ward）から構成される。「Rural」の行政区はビレッジ・トラクト（Village Tract）と言い、ビレッジ・トラクトはいくつかのビレッジ（Village）から構成される。

3-2. エーヤワディ地方域について

エーヤワディ地方域はミャンマーの州・地方域の中で２番目に人口の多い地域である。西側・南側には海に面しており、特に南側では、高潮の災害が過去発生している。西側はやや高い山岳地帯となっており、山間部の村では土砂災害が発生している。その他の地域は全体的に平坦な地形であり、エーヤワディ川とパテイン川のデルタ地域となっており、雨季などで毎年、河川の氾濫による洪水や、浸水の被害を多く受けてきた過去があり、対策が急がれる地域である。

3-3. Pathein（パテイン）市について

パテイン市はエーヤワディ地方域の西側の行政区



Myanmar Administrative Structure
図３　ミャンマーの行政構造

Pathein 県に位置し、エーヤワディ地方域の首府であり、人口は 169,773 人の地方中核都市である。

パテイン市開発局が公開している二つの資料[4]によると、パテイン市は現在 15 の区（Ward）から構成されている。区の境界はパテイン川や幹線道路によって分けられており、面積や人口は区によって様々である。

表２に区毎の人口を示す。区ごとの人口を見ると、パテイン市中心部の区である２区、４区、６区とその周辺の区は人口が多く１万人以上の人が暮らしている。人口は中心部から離れるにつれ少なくなっており、12 区は 4000 人程度と最も人口が少ない。人口が最も多いのは１区であり、２万人以上の人が暮らしている。

また、パテイン市開発局へのヒアリング調査（平成 27 年に現地調査）によると、市中心部である２区、４区、５区、６区は富裕層が居住しており、市中心部から少し離れた８区、９区、10 区は貧困層が居住している。市中心部に近い１区の人口が最も多く、１区は幅広い層が多く住んでいることが考えられる。

４．浸水想定評価モデルについて

4-1. 浸水域と標高値について

JAXA が公表したミャンマーにおける大洪水（2015 年）の画像から浸水想定エリアをポリゴン化し、ASTER GDEM

表２　パテインの人口

区	Population		
Ward	Total	Male	Female
1 区 (Ward)	21,263	9,734	11,529
2 区 (Ward)	13,104	5,962	7,142
3 区 (Ward)	18,412	8,407	10,005
4 区 (Ward)	9,954	4,401	5,553
5 区 (Ward)	12,304	5,682	6,622
6 区 (Ward)	12,157	5,559	6,598
7 区 (Ward)	15,910	7,489	8,421
8 区 (Ward)	16,437	7,908	8,529
9 区 (Ward)	10,621	5,083	5,538
10 区 (Ward)	6,098	2,960	3,138
11 区 (Ward)	5,970	3,230	2,740
12 区 (Ward)	4,140	1,981	2,159
13 区 (Ward)	7,788	375	4,213
14 区 (Ward)	9,049	4,243	4,806
15 区 (Ward)	6,566	3,310	3,256
計	169,773	79,524	90,249

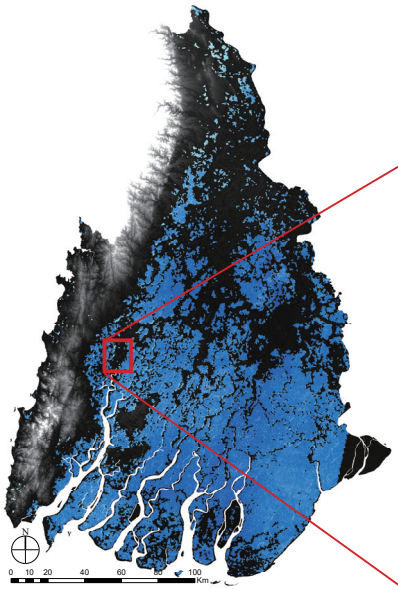


図４ JAXA 画像による浸水想定エリアの標高値の抽出

表３　浸水想定標高の統計結果

セルの個数	14,730,633
最小値	-15
最大値	209
平均	8.5035
標準偏差	5.2613

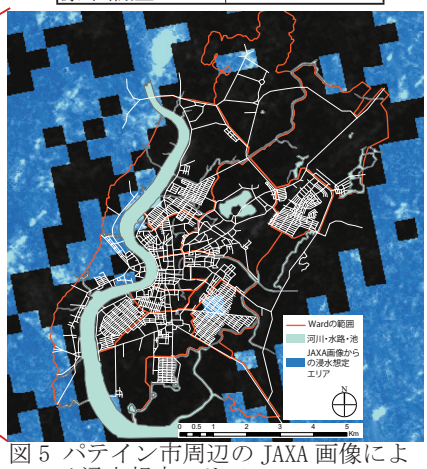


図５ パテイン市周辺の JAXA 画像による浸水想定エリア

表４　浸水深さの区分

Level	浸水深さ（X）	標高値	水深の目安
1	0m ≦ X ＜ 1m	9	大人の腰まで浸かり動けない
2	1m ≦ X ＜ 2m	8	1 階の軒下まで浸水
3	2m ≦ X ＜ 5m	7~4	2 階の軒下まで浸水
4	5m ≦ X	3 以下	2 階建ての家屋が浸水

の地形データを図４の様に重ね、浸水想定エリアの標高値を抽出する。抽出した標高データの統計結果は表３となった。浸水想定エリアの多くが標高値 8.5m 前後であった。この結果より、標高値 9m を基準に浸水エリアを設定する。また、JAXA が公表した浸水想定エリアのパテイン市周辺に着目すると図５の様に示され、精度が粗く居住地レベルの検討には適さない。よって、パテイン市周辺について、標高値 9m 以下を抽出し、浸水シミュレーションをおこなった。浸水深さの区分に関しては、熊本市洪水ハザードマップを目安に表４の様に浸水レベルを４つのレベルに分類したが対象エリア内で浸水レベル４を示す地域はなかった。

4-2. 浸水シミュレーション結果による考察

１）パテイン市内と他地域のアクセス

パテイン市内と他地域のアクセスの幹線道路は２つある。一つの河川沿いの市北部から中央部への道路は浸水想定はなく、災害時でも物資供給等のアクセスとして利用可能である。他方の北東から中心部の幹線道路は比較的浸水がみられる箇所を通っており、アクセスが困難になることが想定され、災害時の物資供給が懸念される。

２）避難施設と区

２区，4 区，5 区，6 区，7 区は比較的浸水想定エリアも少なく、市中心部や近くにある避難施設への移動が可能である。

最も人口が多い１区では、道路沿いの居住地エリアの半数程度は浸水しないが、避難施設への移動は難しく、近くに避難可能な施設設置が必要である。

3 区の中心部付近は浸水もほぼなく、避難施設へ移動が可能である。湖付近にあるパテイン大学周辺が浸水想定エリアである。防災拠点としては重要であるので、付近の整備状況や精度の高い方法で検証し直すことも必要である。

8 区，9 区は道路周辺の居住地区の半数程度が浸水想定エリアである。貧困層も多いエリアなので垂直避難も難しく、住宅の構造も弱い。付近の避難施設に移動が難しい箇所も確認でき対策の必要性が感じられる。

10 区，12 区は農地が多い区であり浸水想定エリアも比較的広い。11 区，15 区は浸水エリアが比較的広いが軍関連の施設が多く状況の判断が難しい。

13 区の浸水想定エリアは広く、避難施設もない。避難施設につながる道路も浸水想定内にあり孤立する。

14 区の半分程度が浸水エリアである。14 区も避難施設がなく整備の必要ある。

また、3 区の東側に新規に 16 区が計画されているが、浸水することが想定される区域であるため対策が必要である事も被害想定ベースマップの作成過程で把握できた。

避難施設に着目すると、学校（19 箇所）・病院（5 箇所）・公共施設（4 箇所）の内、学校 7 箇所、公共施設 2 箇所が浸水する施設と判断される。また公共施設の 1 つはパテイン川沿いの市民ホールであり、歴史的な施設でもある。移築を想定し現状調査や既存建築の実測調査などによる重要度についても検討する必要がある。

５．まとめ

過去の自然災害における被害状況を把握する際に現地調査や文献調査の他に衛星画像による把握が有効である。そこで今回は JAXA が公表したミャンマーにおける大洪水

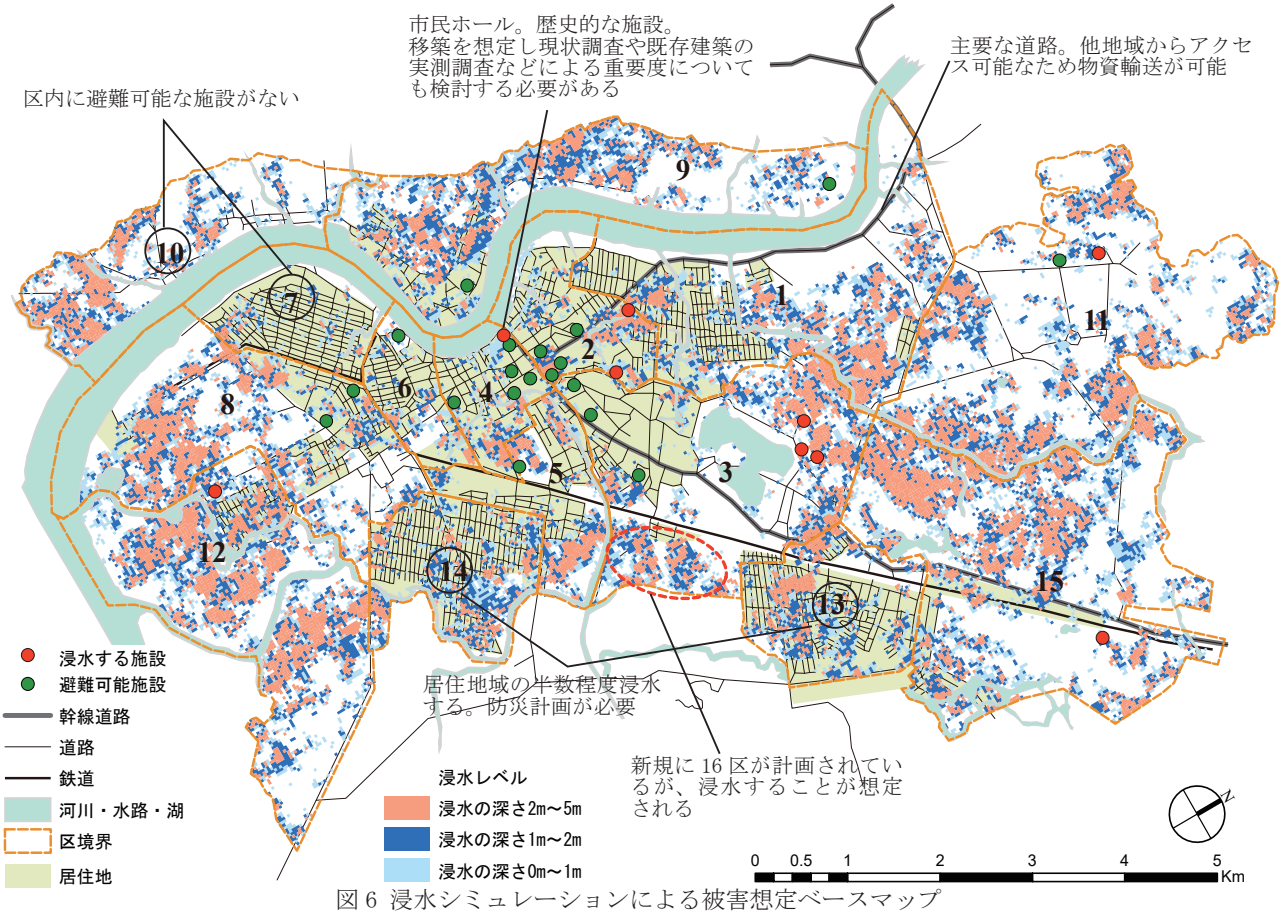


図 6 浸水シミュレーションによる被害想定ベースマップ

（2015 年）の浸水想定エリアを示す画像を用いて、エーヤワディ地方域の過去の自然災害被害状況の履歴となるデータベース作成の検討ができた。洪水等の自然災害の場合気象条件が悪い場合が多いが、衛星画像を利用することにより被害状況を示す履歴の蓄積が可能である。

居住地域レベルで被害状況を検討するには衛星画像をそのまま利用した画像解析からは難しかった。ASTER GDEM の地形データを利用することにより浸水想定標高値を設定し、再度標高値の抽出からマップを作成することにより、居住地域レベルでも浸水シミュレーションが可能であり、浸水想定エリアや避難施設への移動が可能かどうか等､被害想定マップとして有効か検討できた。ただ、今回の精度では、曖昧な点もあり、ドローンのレーザー測量などの地形測量と併用する事も必要があると感じた。

集落の状況や土地利用を示すベースマップは、パテイン市開発局から頂いた資料を用いたが、衛星画像や地形データとあわせる際に合わせづらかった。ベースマップは解像度の高い衛星画像かつジオリファレンスを持っている、またはおこなった上で地図情報をトレースし、集落分布調査・土地利用を追加していく方がよかった。以上のように居住地域レベル（ward 区分）での浸水想定シミュレーヨンから防災施策の問題点の抽出や被害想定評価モデルについて検討することができた。

【参考文献】
1) Myanmar Information Management Unit：行政区 ,CENSUS データ等 ,http://themimu.info/ ,2018.7.13
2) JAXA：「だいち 2 号によるミャンマー洪水被害の観測結果について」,http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jdis_pal2_mmn-flood_aug2015.htm, 2018.7.13
3) ASTER GDEM：地形データ， http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/ ,2018.7.13
4) パテイン市開発局「パテイン市街区資料」「パテイン市土地利用資料」：2014 年現地のヒアリング調査にて取得
5) 川崎昭如，市原裕之，落井康裕，小高暁：2015 年ミャンマー水害に対する政府の対応と河川管理施設および水路の洪水対策機能：バゴー川流域における実態調査，地域安全学会論文集 No28, 2016. 3
6) 田平由希子，川崎昭如，市原裕之：民政移行後のミャンマー中央政府の防災体制と今後の課題，地域安全学会論文集 No21, 2013. 11

＊1　熊本大学熊本創生推進機構　特任助教　博士（工学）
＊2　熊本大学大学院先端科学研究部　准教授　博士（工学）
＊3　熊本大学大学院先端科学研究部　教授　工博
＊4　熊本大学大学院自然科学研究科　博士前期課程
＊5　熊本大学大学院自然化学教育部　博士前期課程