

(56) 異分解能時系列衛星観測データによる スマトラ島沖地震の災害復興モニタリング

吉原 弘一郎¹・羽柴 秀樹²

¹学生会員 日本大学 理工学研究科土木工学専攻 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14)
E-mail:csko16023@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学 教授 理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14)
E-mail:hashiba3@civil.cst.nihon-u.ac.jp

近年アジアでは災害が多発している。それらの中で特に大規模な津波が発生したスマトラ島沖地震や東日本大震災が挙げられる。被災から5年から10年がそれぞれ経過し復興が進められている最中であり、その復興を分析することは重要なことである。長期的な復興評価において、異分解能で観測が続いている衛星リモートセンシングは復興状況を時系列にかつ効果的にモニタリングできる。ここでは、10年を経過したスマトラ島沖地震の津波被災地のバンダアチェ周辺の土地被覆変化を複数の異なる分解能の衛星画像から調査し復興過程を評価した。さらに、マルチレゾリューションな観点での復興モニタリングの効果について考察した。その結果、複数の衛星を複合して使用することにより多角的な視点から復興過程を評価することができた。

Key Words : Multi resolution, High resolution, Medium resolution, tsunami, disaster reconstruction

1. はじめに

2004年12月26日に発生した、スマトラ島沖地震では津波被害で多くの犠牲者を出し、また2011年3月11日には東日本大震災とアジアでは甚大な被害を被っている。このように、近年アジア周辺では地震や台風といった、自然災害が多発している。そのなかでも、特に開発途上国の被害は先進国の被害に比べて人的被害・経済的被害が大きくなっており、自然災害は開発途上国の発展を阻害²⁾している要因の一つと言える。

これまで、災害や復興に関する研究は数多く存在している^{3,4)}が、長期的な災害の復興に関する面的なモニタリングの研究事例は数少ない。自然災害によって被災した開発途上国の復興を長期モニタリングの観点から分析することは、近い将来の新たな災害対策と経済政策のバランスのとれた発展的な地域計画に寄与するために重要なことである。また、長期的な復興の研究において、継続的な観測が続いている衛星観測情報は復興状況を時系列にモニタリングできるため、このような計画策定に有効と考えられる。加えて、長期間におよぶ観測が継続している中分解能衛星による観測情報の特徴と、高分解能衛星による高詳細な土地被覆観測情報の特徴を融合し、よりマルチレゾリューションな観点から復興状況を評価

するとより効果的であると考えられる。

本研究は、異なる分解能の複数の衛星観測データを用いてスマトラ島沖地震の津波災害から、復興への土地被覆状況を時系列的に調査し、復興の過程について分析した。そこから、復興過程における人工建造物の再整備状況について面的変化からの考察を行い、かつ複数の異なる分解能での衛星観測データによるマルチレゾリューションな観点から長期的な復興モニタリングへの効果について考察した。

2. 研究方法

(1) 対象地域

開発途上国の中でも、近年GDPの上昇で都市開発が活性化されている、インドネシアに着目し2004年12月24日に起こったスマトラ島沖地震で、被害の大きかったバンダアチェを対象地域に選定した。

(2) 使用データ

災害前と災害後から、5年間及び現在のLandsat5号・8号により観測された、衛星画像データを使用した(表-1)。尚、解析精度を向上させるため、雲の少ないデー

表-1 複数の衛星観測データ

観測年月日	衛星名	分解能(m)
2004年 12月 28日	Quickbird	2.4×2.4
2005年 1月 6日	Landsat5	30×30
2006年 7月 4日	Landsat5	30×30
2007年 4月 18日	Landsat5	30×30
2008年 9月 11日	Landsat5	30×30
2009年 4月 23日	Landsat5	30×30
2010年 1月 17日	Worldview2	2.0×2.0
2011年 2月 8日	Landsat5	30×30
2012年 3月 22日	Landsat7	30×30
2013年 10月 11日	Landsat8	30×30
2014年 11月 15日	Landsat8	30×30
2015年 1月 18日	Landsat8	30×30
2015年 1月 15日	Worldview3	1.2×1.2

タを選択し、周期や季節に若干の違いが生じている。このデータはUSGS/Earthexplorer⁵⁾ から入手したLevel-1 Geo-TIFFデータである。また、災害後に Quickbird, Worldview2, Worldview3, により観測された、高分解能衛星画像データを使用した。

(3) 調査・解析方法

a) 中分解能衛星画像による調査・評価方法

バンダアチェの被災地域全域を含む25×30 (km) の領域 (図-1の範囲) の土地被覆分布の時系列的な変化傾向をLandsat衛星画像データに対する最尤法による土地被覆分類処理から示した。ここでの分類項目は図-1の凡例に示す項目である。また、対象領域内に10×10 (km) で評価範囲を設定 (図-1a)中の白線矩形範囲) し、土地被覆分類率の時系列変化からバンダアチェ中心域の復興過程を定量評価した。

b) 高分解能衛星画像による調査・評価方法

図-1b)中の白点線矩形領域に数種類の5×5 (km) の高分解能衛星画像を使用し、Landsat衛星画像よりも詳細に復興過程を画像判読から分析した。また、Landsat衛星画像と同様に最尤法による土地被覆分類処理を行い、得られた結果から人工構造物域のみを赤色で抽出し示した (図-4)。加えて、被災場所による復興状況の違いを評価するために、5×5 (km) エリアをさらに2.5×2.5 (km) の広さで沿岸部、中心部、内陸部、南西部に4分割した領域ごとに人工構造物域の特徴と変化を定量評価した。

3. 研究結果及び考察

(1) 中分解能衛星による復興過程の評価結果

a) バンダアチェ全域の復興過程について

図-1より2004年と2005年を比較すると、津波の影響から災害のあった2005年沿岸付近は、2004年に比べて人工構造物と植生が減少し、水域や裸地・砂浜が増加していることが示された。その後、2005年から2009年にかけて沿岸付近を比較すると、人工構造物が増加している。しかし、2009年と2015年を比較すると沿岸付近で人工構

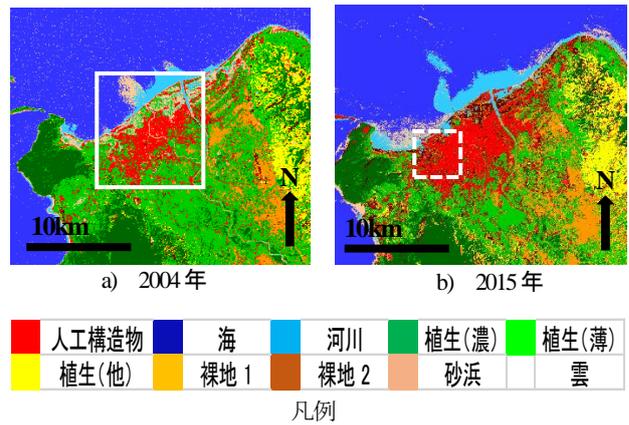


図-1 教師付き分類によるバンダアチェ広域の土地被覆分布状況

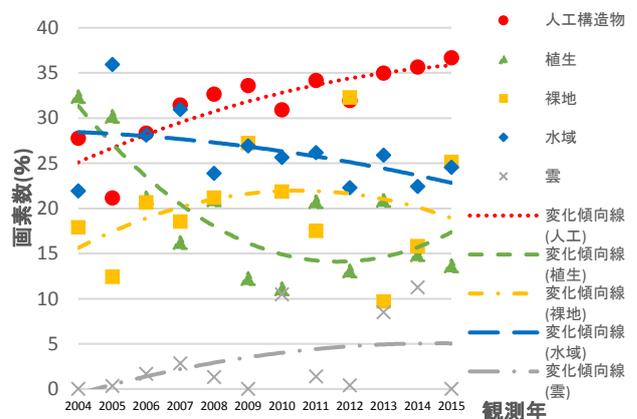


図-2 矩形エリア内における被災から復興の土地被覆の時系列変化

造物の大きな変化は認められない。このことから、2009年頃には沿岸付近の復興は完了したと考察することができる。また、2004年と2015年を比較すると全体的に人工構造物が増加し、内陸に拡大していることも確認できた。

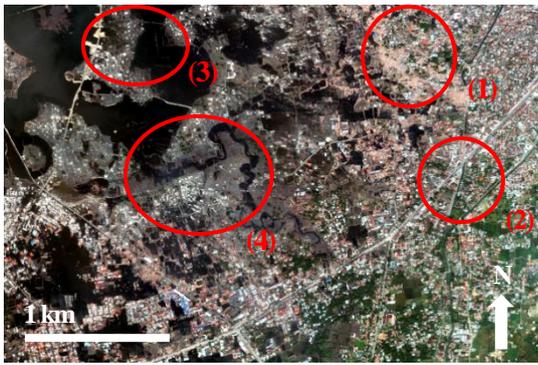
b) バンダアチェ中心域の定量評価

バンダアチェの中心域付近に設定された10×10 (km) の矩形エリア内における土地被覆率の経年変化を図-2に示す。図に示されるように災害のあった、2005年は2004年に比べ津波の影響から水域が大幅に増加し、その他の項目は全て減少している。その後人工構造物は復興のため、2006年に急激に増加している。また、内陸に人工構造物が拡大していることから、2015年まで緩やかな増加をしている。今後も人工構造物の拡大に伴い、増加傾向であると考えられる。

(2) 高分解能衛星による復興過程の評価結果

a) 画像判読によるバンダアチェ中心域の復興過程の評価

図-3は図-1b)中白点線矩形領域の高分解能衛星画



a) 2004年



b) 2010年



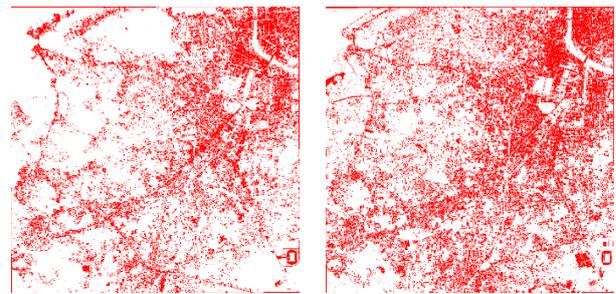
c) 2015年

図-3 True color 画像による詳細な土地被覆の変化

像を一部拡大し、True color表示で示した。2004年は、津波により多くの家屋が流されている(図-3a)中(1)。2004年と2010年を比較すると2010年には、家屋が復興していることがわかる(図-3b)中(1)。また、2015年にかけて構造物(図-3a) b) c)中(2)や橋・小道(図-3a) b) c)中(3)が、新設されている箇所を確認することができた。そして、災害時には氾濫していた河川や植生の整備も現在は行われている(図-3a) b) c)中(4)。このことから、Landsat衛星画像では示すことができなかった、細部にわたる判読調査から復興過程が詳細に示された。

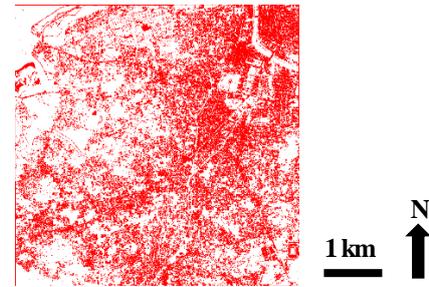
b) バンダアチェ中心域の人工構造物域の分布状況の時系列変化

図-4は図-1b)中の白点線矩形領域に数種類の5×5(km)の土地被覆分類から得られた人工構造物域のみを赤色で示したものである。各画像全体の人工構造物量の



a) 2004年

b) 2010年



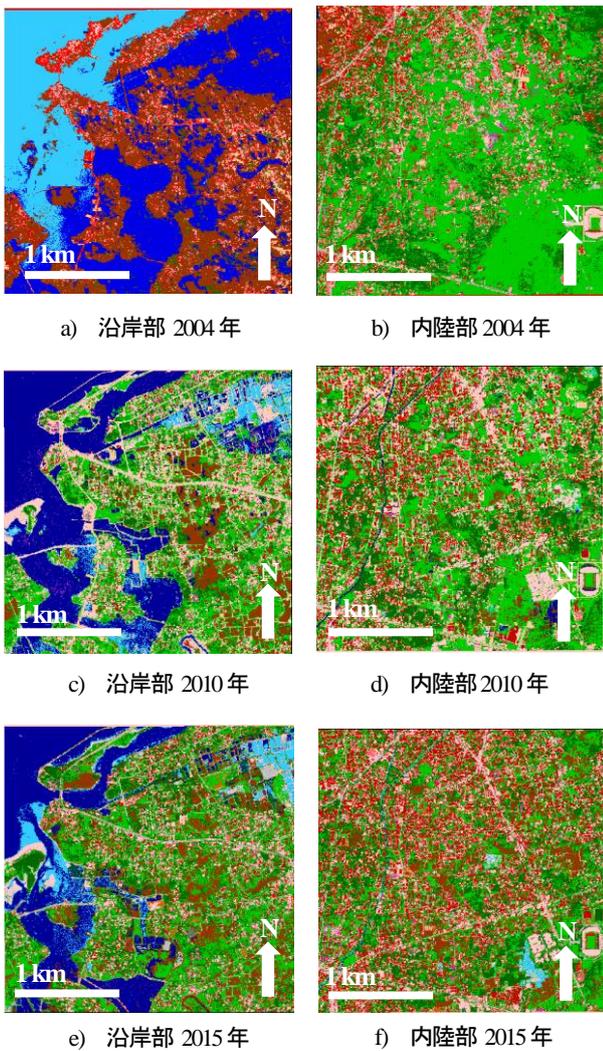
c) 2015年

図-4 矩形エリア内の教師付き分類による人工構造物域の分布状況

割合は被災直後の2004年(図-4a)では22.36%、2010年(図-4b)では31.02%、2015年では(図-4c)は38.64%となる結果になった。人工構造物域は2004年から2010年にかけては、8.66%増加している。これは、復興によって人工構造物が増加したものであり、特に沿岸付近は新設された家屋や道路が多くあるため、画像を目視判読から人工構造物の比較をしても新たな変化を読み取ることが可能である。次に、2010年から2015年にかけては7.62%増加している。2004年と2010年の増加量とほぼ同じ傾向を示した。しかし、この期間における画像判読結果を比較しても新たな人工構造物の新設等による変化を読み取ることが困難である。この理由としてこの期間においては、既存の人工構造物がない地域に、人工構造物の新設が少なく、2010年の時点で既に復興が完了しているためと考察できる。また、2004年から2010年の期間と、2010年から2015年の期間の間で、人工構造物の増加量に大きな差は認められなかった。これは、既存の地域に人工構造物がさらに密集化したことが考えられる。

c) 分割された小エリアの土地被覆の変化特性

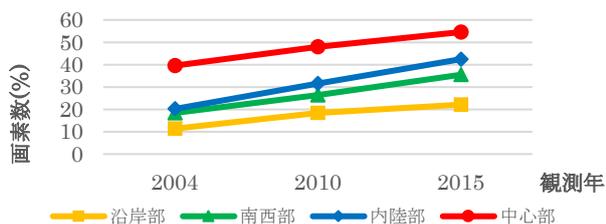
2.5×2.5(km)の広さで沿岸部・中心部・内陸部・南西部ごとに分割された各小エリアの人工構造物の面積率を百分率で示した(図-6)。また、図-5は教師付き分類による土地被覆分類の各エリアごとの表示結果である。どの年代も人工構造物域は家屋等が密集している中心部が多く、沿岸部が少なくなっており、増加量は内陸部が22.26%、南西部が17.09%、中心部が14.99%、沿岸部が10.72%となる結果になった。これより、内陸側に人工構造物が増加している傾向が示され、2010年の中心部と



家屋(1)	家屋(4)	海	植生(薄)
家屋(2)	家屋(5)	河川	裸面(1)
家屋(3)	道路	植生(濃)	裸面(2)

凡例

図一五 分割した沿岸部と内陸部の教師付き分類による時系列変化



図一六 4分割された各エリアの人工構造物域について

内陸部の人工構造物域の差は19.37%となっていたが2015年での差は12.13%と縮まっている。これは、津波の来る沿岸ではなく内陸側に家屋等が増加したことが大きな要因だと考えられる。そして、内陸側に今後も人工構造物が増加していき都市が拡大していくことが考察される。一方で、沿岸部および中心部は2015年にかけて増加量がやや衰退している。このことから、2010年にはこれらのエリアでは復興がほぼ完了し、人工構造物のさらなる新

設が減少したことが考えられる。

(3) 複数の衛星画像の複合的な復興状況とその効果について

中分解能衛星画像と高分解能衛星画像の双方から人工構造物のみを抽出し、定量的に比較すると2005年から2010年にかけて復興により大幅に人工構造物が増加され沿岸付近を中心に変化している。また2010年から2015年にかけては内陸側に家屋等の人工構造物が緩やかに増加していることが確認できた。また、最初の中分解能衛星画像を用いることで広範囲な地域全体の復興状況を捉え、さらにその変化の内容をより詳細に高分解能衛星画像から把握することができた。このように、異なる分解能の衛星画像を複合的に用いることで、そのマルチレゾリューションな観点から復興過程とその後の都市発展の傾向をより多角的に追跡・評価することができたと考えられる。

4. おわりに

ここでは、衛星観測データを用いてスマトラを対象に開発途上国の津波災害から、その後の復興過程を長期間にモニタリングされた。複数の衛星観測データを使用したことにより、復興過程の中でも特に人工構造物の再整備状況を効果的に利用することができた。また、広域観測の特性を有する中分解能衛星画像と局所的な詳細観測の特性を有する高分解能衛星画像を時系列的に併せて複数使用することで、マルチレゾリューションな観点から復興状況のより詳細な変化を評価することができた。これにより、総合的な復興の分析・評価が可能になったと考えられる。今後はこの調査・評価特性をより検討し、被災地の復興過程についてより詳細な分析を行っていく予定である。

ACKNOWLEDGEMENTS: WorldView-3, -2, and Quickbird images used in this study include copyrighted material of Digital Globe, Inc., All Rights Reserved. LANDSAT8/TIRS data courtesy of the U.S. Geological Survey.

参考文献

- 1) JICA研究所：国際協力便覧2007・第9章，p540-541，2007。
- 2) 高原明生研究会：発展途上国における防災対応能力の強化，ISFJ政策フォーラム2012発表論文，2012。
- 3) 中島秀敏：2004年スマトラ島沖地震及びインド洋津波被害におけるスマトラ島・アチェ州被害状況現地調査，国土地理院時報，No109，2006。
- 4) 石塚英弘他：インドネシアのアチェ州の津波復興工程で生成された地理情報を有する統合情報システムとその適応，情報知識学会誌，Vol23，2013。
- 5) USGS：EarthExplorer，<<http://earthexplorer.usgs.gov/>>，(入手2015.10.10)。