

都市域の土地利用変化に対する衛星画像解析の可能性

～宮城県石巻市を事例にして～

山田 浩久

(社会システム専攻 地域政策領域)

1 はじめに

都市計画とは、パレート効率的な都市形成を実現するために、土地利用の整備、誘導、規制を行うことであるが、予測どおりに改善が行われない場合もありうる。また、都市住民の思考は多様であり、総体的思考から生まれる都市計画に必ずしも個々人の意思が一致するわけではない。特に、突発的な大規模災害等によって、都市もそれを構成する個人も混乱状態にある場合は、計画の理論的な再考を含め、平常時よりも短いスパンで土地利用の変化を把握し、細やかに軌道を修正していかなければならない。そのためには、現地測量による詳細な空間データの作成が不可欠となるが、人口規模や市街地面積が大きくなるほどそれに要する時間は長くなる。

本研究では、東日本大震災による広域の土地利用変化が生じている宮城県石巻市を事例にして、都市域の土地利用の広域的な把握を短時間で可能にする手法の一つとして、衛星画像解析の可能性を検証する。本研究で検証する手法は、詳細な空間データが整備されるまでの現況把握を想定しており、従来の方法を否定するものではない。また、そもそも国土院は地形図を修正するために空中写真を使用しているし、災害による地形や植物被覆の変化を明らかにするために空中写真や衛星画像が使用されることは珍しいことではない。本研究は、日々更新される衛星画像の精度が上がり、解析ソフトの技術が向上していることから、衛星画像解析が都市活動に伴う土地利用の変化をリアルタイムで把握するのに有効であると考えている。ここで提案する手法の有効性が確認できれば、より解像度の高い衛星画像を用いて個々の人工物の

特定し、短いスパンで市街地内部の人為的な土地利用転換を詳細に把握することも可能であろうが、本研究では主に市街地外縁における土地利用変化を対象にして広域的な状況把握を試みた。

宮城県石巻市は三陸海岸に面する市町村の中では青森県八戸市(24万人)に次ぐ人口規模(16万人、いずれも2010年国勢調査報告)を有しており、東北地方太平洋沿岸域の中心地として機能してきたが、東日本大地震による津波によって中心市街地を含む約73km²が浸水し、全家屋数の約7割に達する53,742棟が被災したほか(全壊22,357棟)、各種事業所をはじめ、学校・病院・総合支所等の公共施設が壊滅的な被害を蒙ったことで都市としての機能がほぼ失われた。震災後の最大避難者数は約50,000人、避難箇所は250カ所にのぼり、2017年に至っても仮設住宅で避難生活を続けざるをえない避難者が存在する。

2 使用する衛星画像

石巻市は、2005年に旧石巻市とそれに隣接していた桃生郡の旧桃生町、旧河南町、旧河北町、旧北上町、旧雄勝町と牡鹿郡の旧牡鹿町が合併することで誕生し、2014年時点における市域面積は554.5km²である。旧桃生町、旧北上町を除く1市4町に設定されていた都市計画区域のうち、旧雄勝町、旧牡鹿町の都市計画区域は2010年に廃止された。旧石巻市と旧河南町の都市計画区域は連続しており(130.0km²)、東松島市、女川町とともに石巻広域都市計画区域を構成している(1970年指定)。一方、旧河北町の都市計画区域は飛び地的に併存し(15.1km²)、特徴的な区域設定となっている(図1)。

衛星画像の切り出しは方形が基本であり、本研

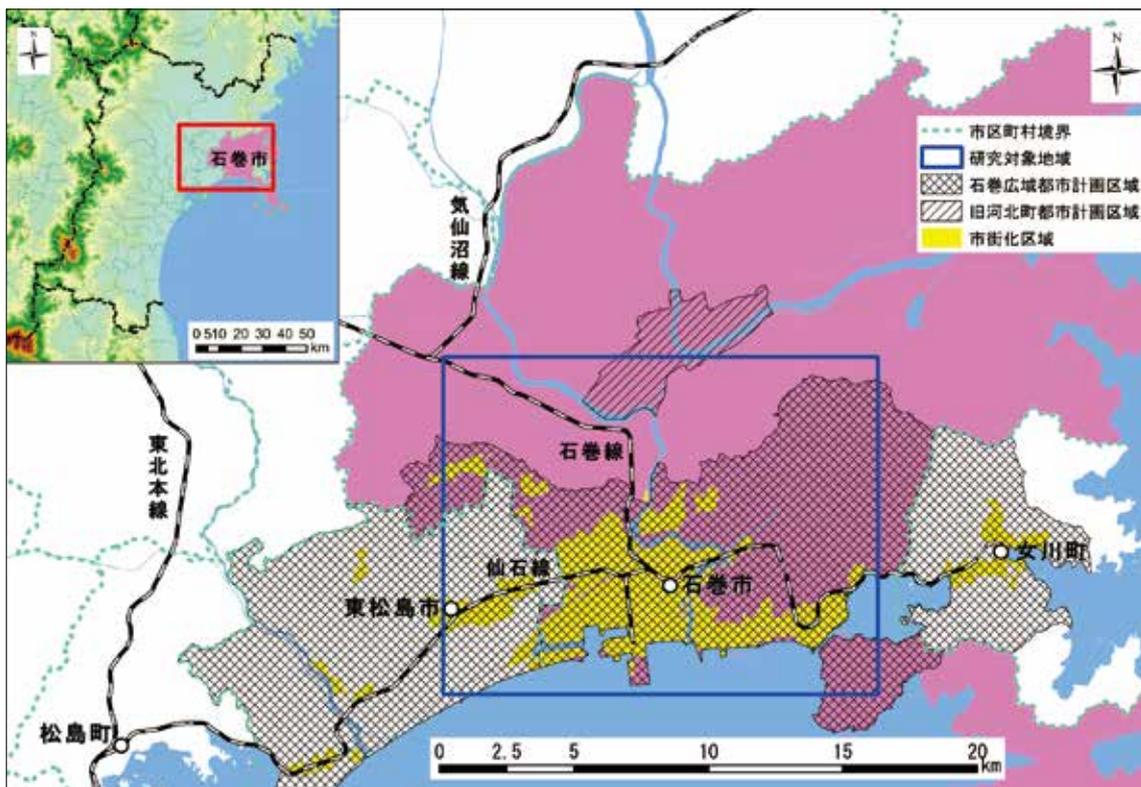


図1 石巻市概観

究の目的からも同市全域を市境界で区切って研究対象地域にする必要はないため、石巻市街地とそれに連たんする東松島市街地を含む方形の区域約200km²を研究対象地域に設定した。なお、本研究で言う市街地とは、区域区分（線引き）された市街化区域を指し、用途地域が設定される。

石巻市の市街化区域は石巻広域都市計画区域内に引かれており（31.7km²、全市域面積の5.4%）、そこに総人口の約4分の1が居住している。この割合は全国的に見て高い方ではない。1市6町の大合併によって、人口の集住域が複数存在する多極型の都市になったことが原因と考えられる。

本研究で使用した衛星画像はドイツ国籍の衛星 Rapid Eye によって撮影されたもので、青（440-510nm）、緑（520-590nm）、赤（630-680nm）、レッドエッジ（690-730nm）、近赤外（760-850nm）の5バンドマルチスペクトル画像である。レッドエッジバンドを搭載していることが特徴であり、植生調査に効果的な衛星画像であると言われている。Rapid Eye の画像はリサンプリング後の解像

度が5mであるため、解像度30cmクラスの画像に比べると人工物の建替え／改修を特定することはできないが、新設や取り壊しを特定することは可能である。本研究は、市街地外縁における土地利用変化を広域的に把握しようとするものであり、緑地の変化を捉えやすく、安価で広範囲のデータを入手できる同衛星画像を採用した。使用した画像の撮影年月日は、森林や水稻の緑色によって緑地が特定しやすい夏季（8月）で撮影時期を統一し、震災前の2010年8月24日（図2）、震災直後の2011年8月9日（図3）、近年の2015年8月6日である（図4）。

使用したソフトは米国 Exelis Visual Information Solutions 社製の ENVI である。研究対象とした衛星画像は、干渉防止のため水域部分をマスク処理した後、クラス分類を行った。その後、米国 ESRI 社製の GIS ソフトである ArcGIS を使用して各種土地利用を計量的に把握し、同分析結果を石巻市の災害復興計画と対照させた。



図2 2010年8月24日の衛星画像



図3 2011年8月9日の衛星画像



図4 2015年8月6日の衛星画像

3 土地利用のクラス分類

3-1 震災以前

2010年8月24日に撮影された衛星画像に対して、ENVIのクラス分類機能を用いて震災直前の土地利用図を作成した（図5）。同図を見ると、都市計画区域内に都市的土地利用が収まっている様子を確認することができるものの、飛び地的に設定されている旧河北町の都市計画区域（未線引き、

図1参照）と市街地が展開する石巻広域都市計画区域とを連結するような土地利用が区域外の石巻線沿線においてなされていることが分かる。石巻広域都市計画区域内では、仙石線にそって都市的土地利用が帯状に広がり東松島市（旧矢本町地区）との連たんが観察される。また、旧桃生町、旧河南町、旧河北町の中心部が郊外の生活拠点となっている。ただし、5mの解像度で現れるほどの更地がほとんど存在しないことから（0.8km²、

表1 研究対象地域内の土地利用の割合（単位：km²、括弧内は%）

	2010		2011		2015	
	面積 (km ²)	割合 (%)	面積 (km ²)	割合 (%)	面積 (km ²)	割合 (%)
都市的土地利用	54.1	(26.5)	62.9	(30.9)	59.3	(29.1)
更地	0.8	(0.4)	3.2	(1.5)	8.0	(3.9)
緑地	110.3	(54.1)	92.0	(45.1)	100.3	(49.2)
土	7.3	(3.6)	11.9	(5.9)	5.6	(2.7)
雲	0.3	(0.1)	3.0	(1.5)	0.0	(0.0)
水部 (mask 処理)	31.0	(15.2)	30.8	(15.1)	30.7	(15.1)
総計	203.8	(100.0)	203.8	(100.0)	203.8	(100.0)

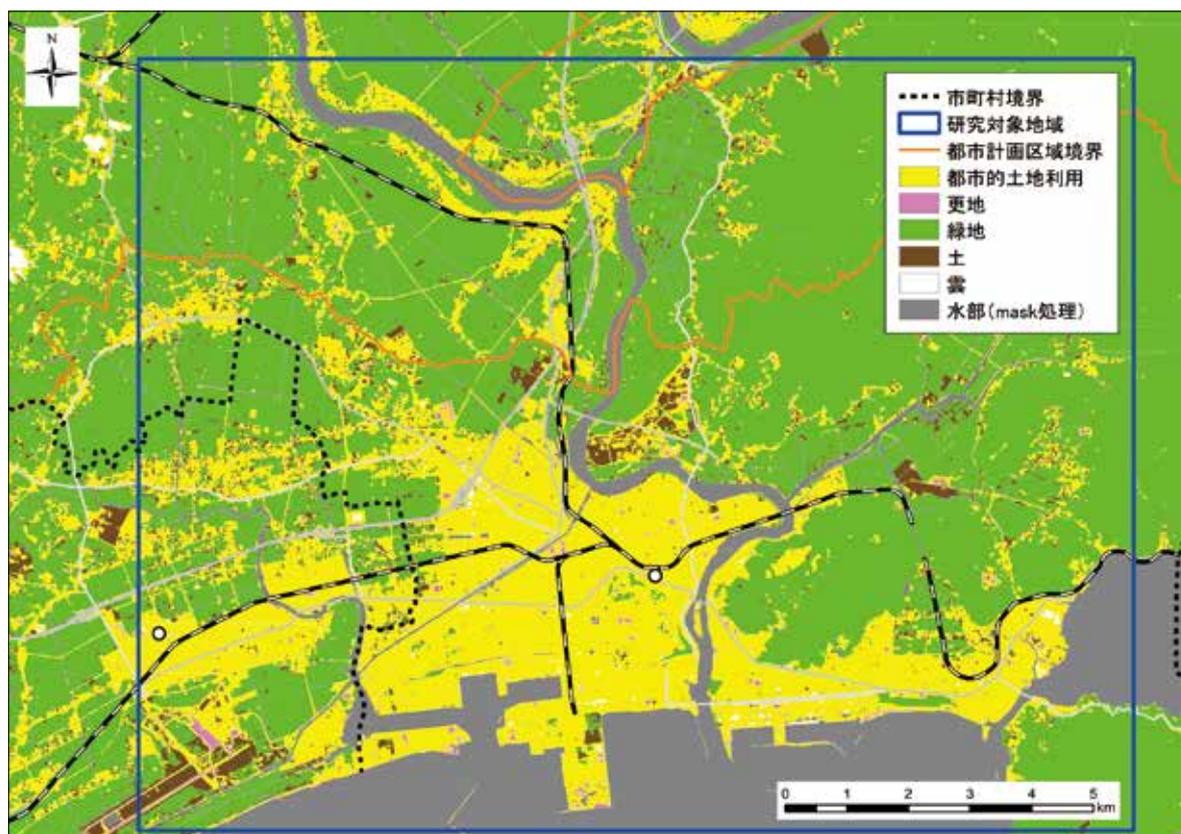


図5 2010年8月24日の土地利用

0.4%)、東日本大震災直前においては、市街地及びその周辺地域で宅地開発が積極的に行われているというわけではなかったことが分かる（表1）。

3-2 震災5カ月後

津波の被災域を図化してみると、用途地域が設定されている市街化区域のうち、仙石線以南で津波による浸水の免れたのは丘陵地になっている日和山地区のみであり、仙石線以北も旧北上川（図中東側河川）および定川（図中西側河川）に対する津波の遡上によって、石巻市街地のほぼ全域が被災したことが分かる（図6，図7）。震災からおおよそ5カ月後の2011年8月9日に撮影された衛星画像に対して、クラス分類を行い土地利用図を描いてみると、市街地に流れ込んだ土砂や瓦礫が同年8月時点においても残存し、「土」に分類された（図8）。また、緑地が 110.3km^2 （54.1%）から 92.0km^2 （45.1%）へ大きく減少し、市街地を襲った津波が市街地内外の緑地も消滅させたこ

とを示している（表1）。新市街地建設では緑地の再生も大きな課題となるだろう。一方で、都市的土地利用は 54.1km^2 （26.5%）から 62.9km^2 （30.9%）に拡大した。これは、クラス分類の過程で、更地でも緑地でも土でもない土地利用が都市的土地利用と判定されたためと考えられる。このように、災害の痕跡が残る時期の都市的土地利用に関しては、当該地の土地利用が実際に機能しているのか否かを正確に判読することが難しい。しかし、このような時期においては、仮に現地調査で視認するにしてもその判定は難しく、衛星画像解析は被災の程度や被災範囲の確認に利用されるべきである。

2011年の画像解析の結果には、雲の影響が比較的強く表れた。雲の部分を共通にマスク処理して時期ごとの比較を行う方法もあるが、それは他の時期のデータをマスクの範囲分だけ消すこととなるため、本研究では他の2時期のデータを優先し、雲のマスク処理は行わないことにした。

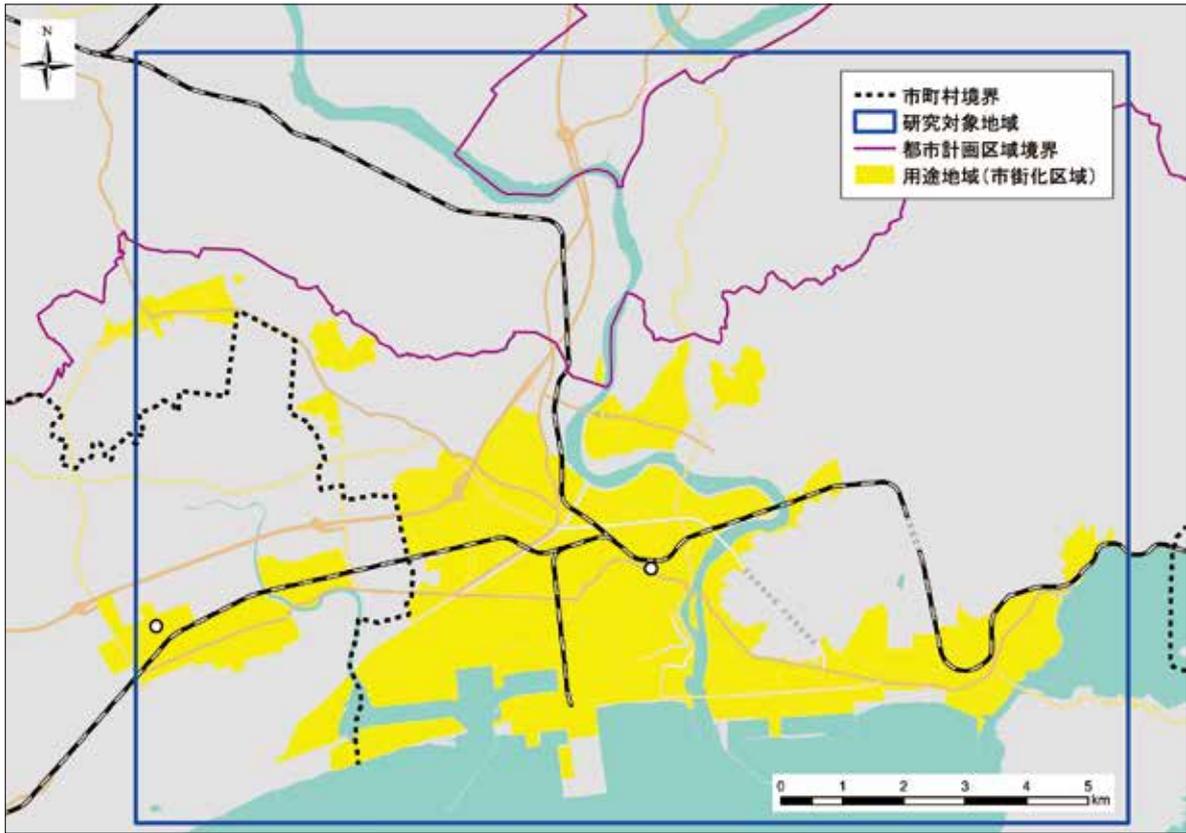


図6 用途地域指定区域（市街化区域）

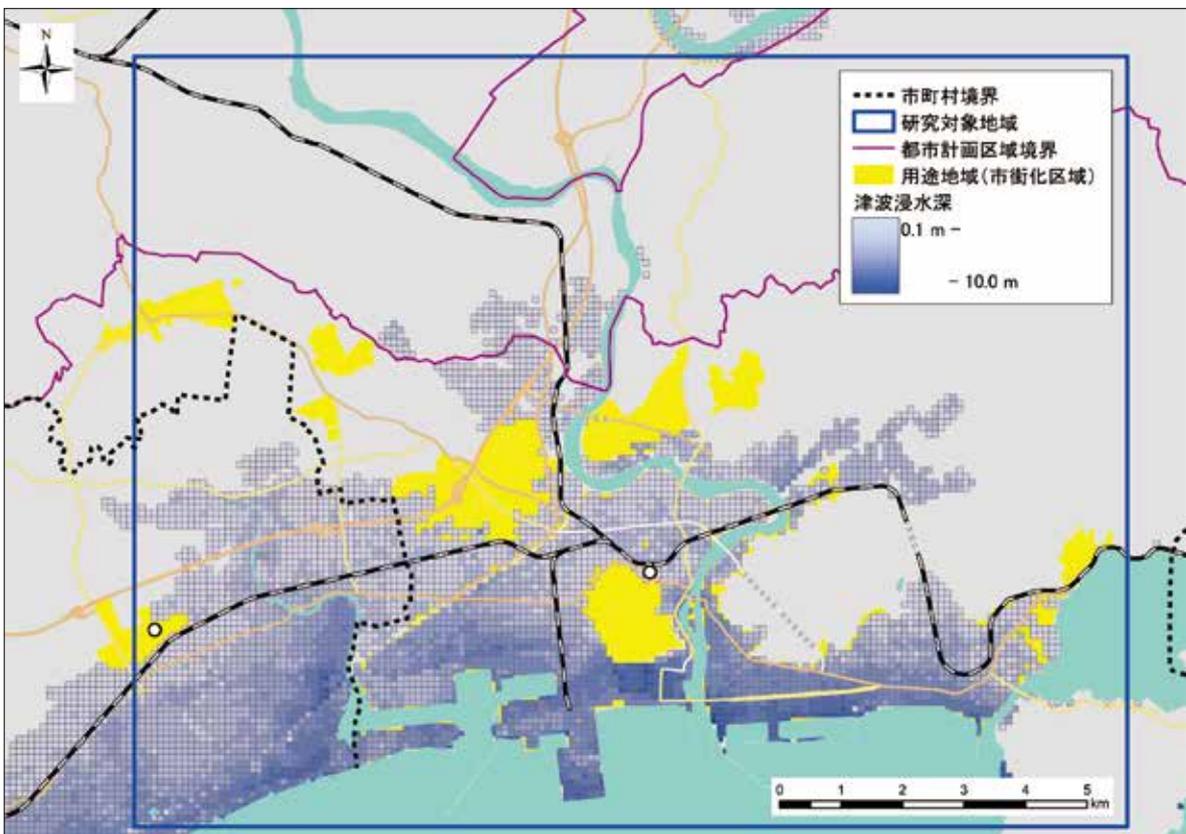


図7 用途地域指定区域（市街化区域）と津波被災域

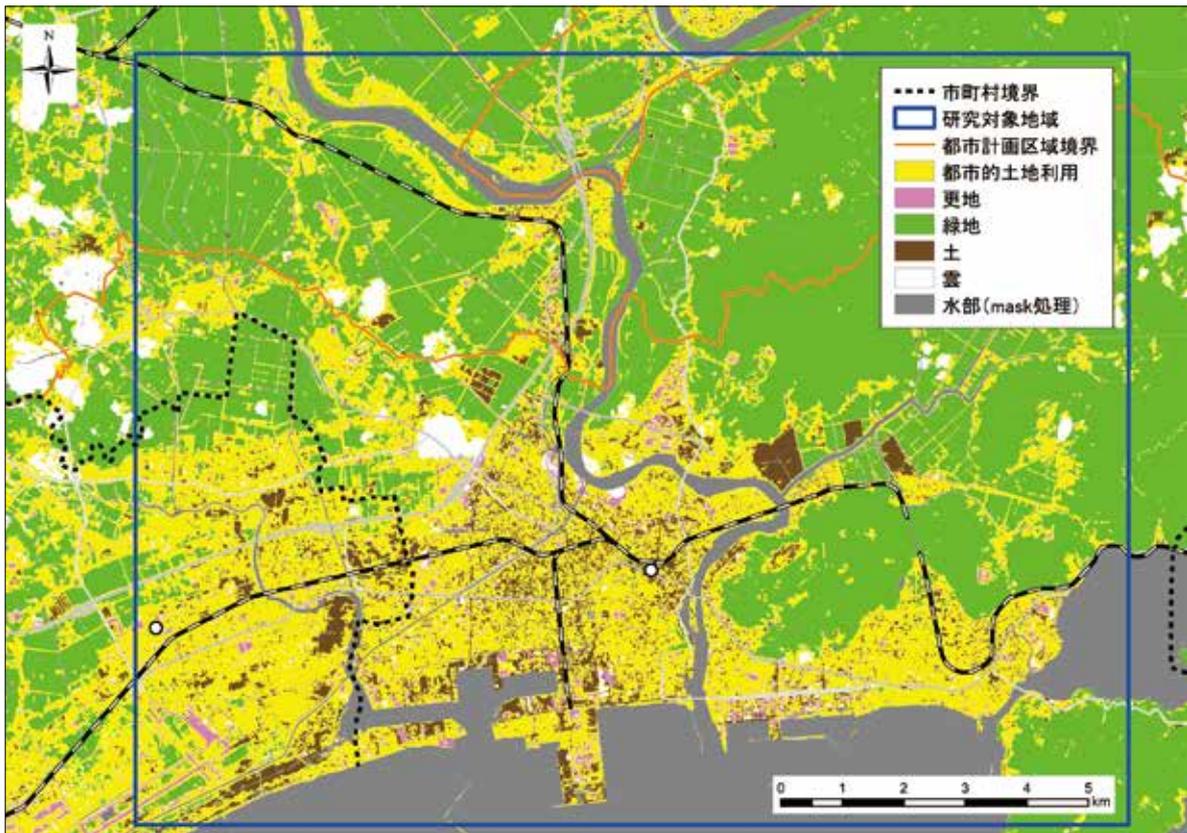


図8 2011年8月9日の土地利用

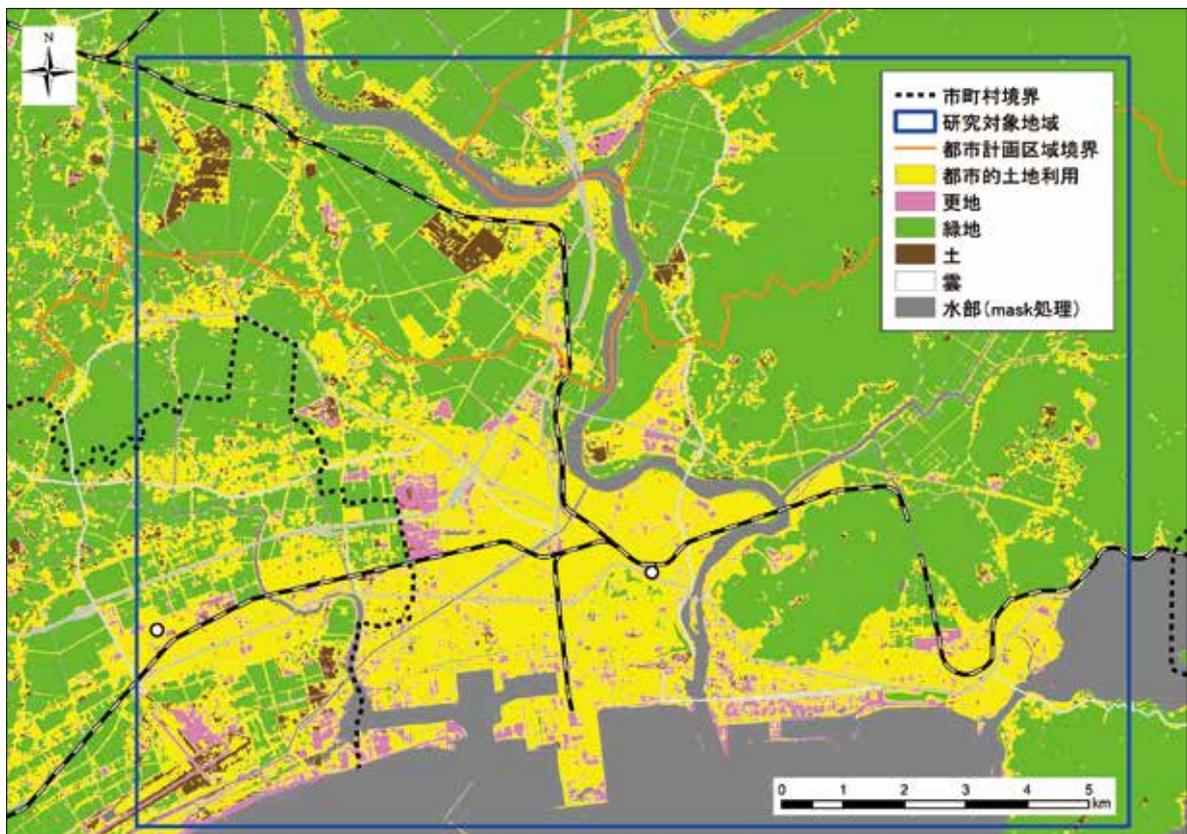


図9 2015年8月6日の土地利用

3-3 近年

2015年8月6日に撮影された衛星画像に対するクラス分類から、近年の土地利用図を作成してみると、土砂や瓦礫が撤去され、被害が大きかった海岸部の土地が更地になっていることが分かる（図9）。また、市街地外縁に大規模な更地が確認される。郊外部に観察される緑地から土に変わった土地も含め、現在生じている土地利用変化の要因と今後の予定については、画像解析で解明できる域を越えており、行政担当者や現地調査に頼らざるをえない。なお、更地に分類された土地の面積は8.0km²（3.9%）に達し、震災前の約10倍にまで拡大した（表1）。

現地調査で補足した結果、市街地外縁の更地は宅地開発による造成地であり、後述する震災復興基本計画に基づく新市街地建設によるものであった。市担当者によれば、震災前に造成されていた土地にも住宅建設が進んだということであり、被災域での住宅建設を避けようとする被災者や住宅建設が制限されることになった土地（災害危険区域）に居住していた被災者による土地需要に郊外の宅地が対応しているようである。一方、郊外農村域に対する土地利用変化は、宮城県が事業主体となる農村整備事業（基盤整備事業）によるものが多い。震災との直接的な関連はない地区もあるが、停滞していた事業が震災による浸水や地盤沈下によって一気に進行した地区もある。

4 震災復興基本計画による市街地の再編

2011年6月に施行された東日本大震災復興基本法（以下、復興基本法）に基づき同年12月に施行された東日本大震災復興特別区域法では、被災した地方公共団体が単独または共同して復興推進計画を策定し、それを国が認定することによって規制の特例等が適用されることになったが、復興基本法によって設置された東日本大震災復興対策本部が提示した復興の基本方針では、「東日本大震災からの復興を担う行政主体は、住民に最も身近で、地域の特性を理解している市町村が基本」と

されており、具体的な復興施策はあくまでも市町村単位で立案、実施する。石巻市も、復興基本法に即して県と県内34市町村との共同で復興促進計画を策定し、2012年2月に国から全国第1号の認定を受けると共に、2014年3月には県と共同で策定した復興整備計画を公表した。両計画は同市が2011年12月に策定した石巻市震災復興基本計画の進行を財政面／制度面でバックアップするものとして位置づけられている。言い換えれば、財政面／制度面でのバックアップが決まるまでは広域かつ高額な復興事業は具現化されないということでもある。

震災の発生から1年を待たずに被災自治体が復興基本計画を策定し、それを国がバックアップすることで計画の実現性を確保するというシステムは論理的であり、実践までのスピードも驚異的なものであったことは明らかである。ただし、その驚異的なスピードは行政が行う計画策定といった尺度での評価であり、住居を失った被災者の尺度とは大きく異なる。復興整備計画の中では土地利用構想図として市街地再編の青写真が示されており、それによって復興事業は具現化にむけて加速したと考えられるが、現地での声を聞く限り、計画の策定が遅々として進まないと批判する被災者は多数存在する。そのため、すべての被災者が復興事業の進行に合わせて行動するとは考えにくく、事業計画から外れた住宅建設が部分的に進行していることが予想される。

研究対象地域内における土地利用の2010年から2015年までの変化を見ると、緑地は110.3km²（54.1%）から100.3km²（49.2%）に減少し、都市的土地利用は54.1km²（26.5%）から59.3km²（29.1%）に増加している（表1）。2015年の更地が8.0km²（3.9%）であることから、都市的土地利用の面積は絶対値、割合ともにさらに上昇するであろう。郊外緑地に対する無計画な開発は持続可能な都市成長の理念に逆行するものであり、今後は、このような土地利用変化が計画的なものであるか否かの検証が必要になると考えられる。

5 おわりに

本研究では、東日本大震災による広域の土地利用変化が生じている宮城県石巻市を事例にして、都市域の土地利用の広域的な把握を短時間で可能にする手法の一つとして、衛星画像解析の可能性を検証した。

冒頭で述べたように、本研究は土地利用変化に対する従来の手法を否定するものではないが、都市域の空間的な拡大が都市の成長と捉えられていた20世紀の都市成長概念から機能集約的な成長を目指す都市成長概念への転換期における都市計画を考えようとする場合、どうしても都市域における短いスパンでの土地利用変化を迅速に捉える必要が生じる。特に、突発的な災害によって従前の土地利用が劇的に変化してしまった被災地の新市街地建設の過程においては、Smart Growth への新たな方向性を模索しつつ、混乱する住民の行動を誘導していくことが求められる。先を見越した軌道修正を行うためには、人為的な土地利用転換に伴う個々の土地に対する価値創出や全域で見た場合の都市機能の変化を的確に捉えていかなければならない。

今回の検証では、総体として解像度が5 m程度の衛星画像であっても、土地利用を示す空間データが整備されるまでの状況把握には十分使用可能であるという点が明らかになった。ただし、災害直後に撮影された衛星画像は、被災状況の大まかな把握には有効であるものの、都市的土地利用に関する議論には不適である。災害直後は、建築物は残存しているものの機能が失われている土地利用と機能しているにも関わらず画像では変化があったと判読される土地利用が広い範囲で混在するため、土地利用のクラス分類が平常時におけるそれと大きく異なってしまうからである。そして、この傾向は津波や洪水といった災害に特に顕著に現れる。なお、災害直後の被災状況を正確に把握するためには、天候に左右されにくく、個々の建築物の形状変化を捉えやすいSAR(Synthetic

Aperture Radar) を利用した解析を併用する方が目的を達成しやすい。

今後は、被災状況を明らかにする研究というよりは、復興事業が従前の都市機能をどう変えていくのか、あるいは、非計画的な土地利用改変が都市機能にどのような影響を及ぼすのか、といった研究が必要になると考えられる。市街地が壊滅した石巻市のような被災地においては従前の土地利用を再現できるデータは衛星画像しかなく、例えば復興事業を挟んだ土地利用の差分抽出というような分析が、上記テーマの研究には有効であろう。

付記

本研究は、平成28～30年度科学研究費・挑戦的萌芽研究（課題番号：16K13295、研究代表者：山田浩久）による成果の一部である。

Feasibility of Satellite Image Analysis for Land Use Changes in Urban Areas: A Case Study at Ishinomaki City, Miyagi Prefecture

Hirohisa YAMADA

(Regional Policy, Social Systems Course)

In order to study extensive land use change, adjusted data such as the Geospatial Information provided by the Geospatial Information Authority of Japan is generally used. Although the present study does not contest the validity of this method, adjusting such data is time-consuming. This study evaluates the feasibility of using satellite image analysis to evaluate in just a short space of time changes in urban land use over large areas, using the example of Ishinomaki City in Miyagi Prefecture, where land use has changed drastically due to the Great East Japan earthquake.

The images used were acquired by the German satellite Rapid Eye, the first commercial satellite in the world to have a Red-Edge band, suitable for surveying the distribution of vegetation and the classification of tree species.

Comparing satellite images taken by Rapid Eye in 2010, 2011 and 2015, it was found that, after the earthquake, residential areas increased while green spaces decreased. Although these changes run contrary to the compact city policy pursued by Ishinomaki City, residents thrown into confusion by the disaster altered green spaces to residential areas. This study demonstrates that using satellite images is an effective ad hoc means of identifying land use modification in urban areas while geospatial data is being prepared.