

# 衛星画像を活用した災害廃棄物の発生量の推計手法の検証

- 概要
- 衛星画像を活用した災害廃棄物の発生量の推計フローの検証
- 衛星画像を活用した災害廃棄物の発生量の推計手法の標準化の検討
- 家屋被害の判定基準の確定
- 判読作業向け「目視判読手順」の作成
- 大規模災害時を想定した広域を把握するための手法の検討

# 概要：衛星画像を活用した災害廃棄物の発生量の推計手法の検証

## 目的

環境省では平成27年度に衛星画像を用いた災害廃棄物量の推計手法についての検討を行い、「平成28年熊本地震」ではこれらの成果を活用して衛星画像等を用いた建物被害棟数の推計、及び災害廃棄物発生量の試算を行った。画像判読の精度向上のため、現地踏査等を行い、判定結果の検証を行うとともに、精度向上のための手法を検討する。また、大規模災害時を想定した広域を把握するための手法を検討する。

## 作業方針

### 方針1

衛星画像より判読した建物被害と災害判定結果との相違について検証する。さらに、判読基準や判読手順について検討を行う。

### 方針2

南海トラフ巨大地震等の大規模災害時に備え、広域を撮影可能な衛星画像を用いて把握できる被害推計手法を検討する。

## 検証の対象

### 建物被害

判読による手法(方針1)では全壊、大規模半壊、半壊とする。広域手法(方針2)では全壊を対象とする。

### 被害範囲

熊本市東区及び上益城郡益城町とする。

## 発災

### 広域的な被災状況を把握

- 衛星画像緊急撮影
  - (航空写真緊急撮影)
- 悪天候時や夜間も撮影可能なSAR衛星による観測。  
天候や時刻等に合わせて光学衛星、航空写真を順次撮影。

(24時間~72時間)  
補足的に詳細状況把握

- 衛星画像緊急撮影
  - (航空写真緊急撮影)
- 継続的に撮影を実施。衛星以外の情報(航空写真等)により、より詳細に被災状況を把握。把握した被災状況を報告。

(概ね1週間)  
廃棄物量推計

- 被害量及び廃棄物量の推計
- 衛星画像等から把握した建物被害棟数、あるいは推定した被害棟数を報告。

## 検証方法

### 解体申請上のり災判定

解体申請家屋(全壊、大規模半壊、半壊)と衛星画像等からの判読結果(被害大、被害中、被害小)を比較する。

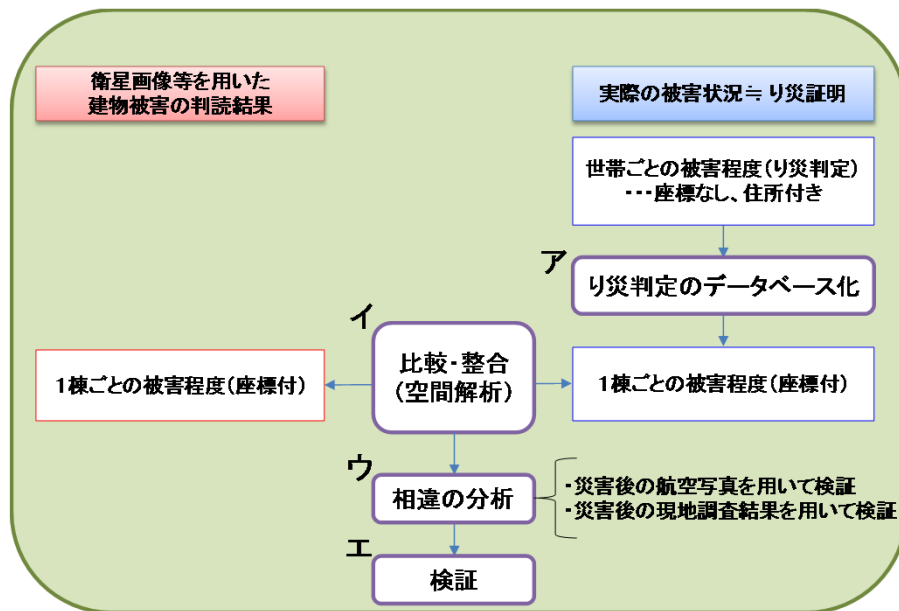
### 現地調査

り災判定と判読結果で被害程度に相違があった建物を現地にて確認し、要因を考察する。

# 1. 衛星画像を活用した災害廃棄物の発生量の推計フローの検証

- 解体申請がされた建物の被害程度(り災判定)と、衛星画像等による判読結果とを比較・検証した。
- 衛星画像等による判読結果と、現地調査等によるり災判定には一部で被害程度の相違があり、その要因を検証した。
- 災害時は衛星画像等から把握可能な建物被害を用いて、熊本地震における検証した結果に基づき被害建物(棟)を推計する。

## 検証の流れ

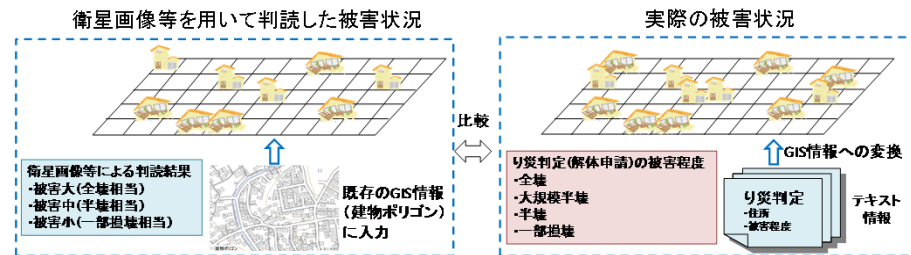


### ア. り災判定(解体申請)のデータベース化

実際の被害状況として、熊本市東区および益城町の解体申請を用いる。解体申請の住所情報からアドレスマッチング技術を用いて棟単位で位置情報を付与し、GISデータ化する。

### イ. 比較・整合

衛星画像等より判読した建物被害と位置情報を付与した解体申請上のり災判定を一棟一棟整合し、比較する。



### ウ. 相違の分析

り災判定と判読結果の相違がどのような場合にどの程度生じているかを検証する。特に、衛星画像等を用いた結果の過小評価、過大評価に着目して行う。

### エ. 検証

二つの建物被害(り災判定と衛星画像等の判読結果)の関係を整理するとともに、推計フローや課題の検証を行う。

## ア. 熊本地震におけるり災判定のデータベース化(熊本市東区、益城町)

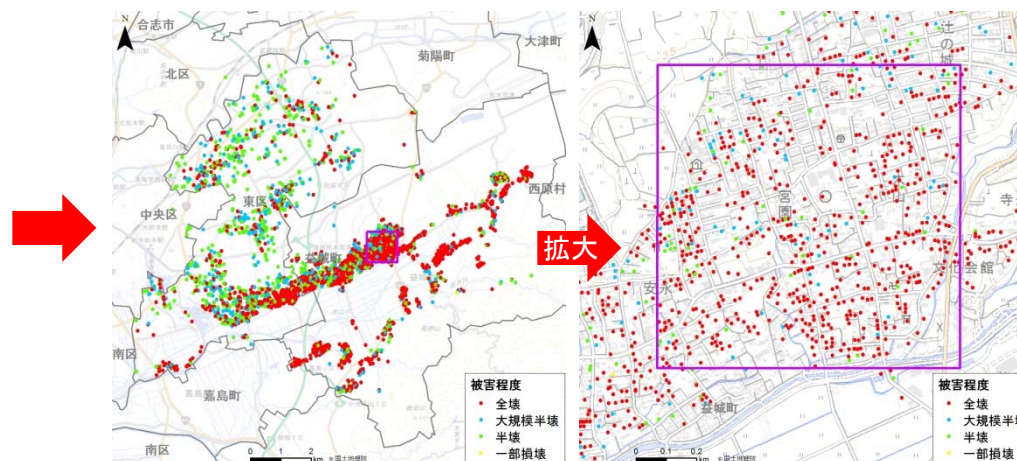
○ 熊本市東区および益城町の解体申請データを活用し、住所情報からアドレスマッチング技術を用いて棟単位で位置情報(※)を付与し、GISデータ化した。

※解体申請は1件につき、1つの所在地と1つ以上のり災判定が記入されている。

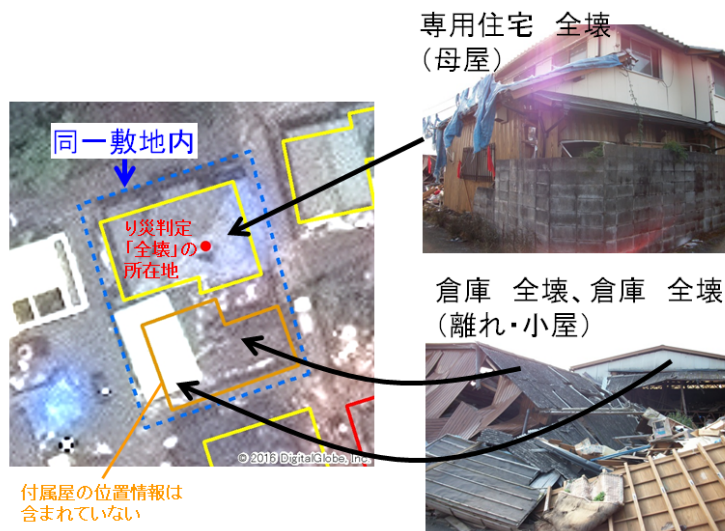
解体申請の記載例

No.	所在地	用途1	り災判定1	用途2	り災判定2	用途3	り災判定3
1	熊本県○○△△	専用住宅	全壊	専用住宅	半壊		
2	熊本県□□××	専用住宅	大規模半壊				
3	熊本県△△□□	事務所	全壊	倉庫	全壊	倉庫	一部損壊
4	熊本県○□◇◇	専用住宅	全壊	倉庫	全壊	倉庫	全壊

解体申請に記載されている所在地(母屋)より、り災判定へ位置情報を付与した。



解体申請(り災判定)の分布



付属屋の位置情報は含まれていない

※解体申請は、場合によっては同一敷地内の複数棟(母屋、付属屋等)の建物被害が記載されているが、同一敷地の代表住所が1つしか記載されておらず、付属屋等の位置までを地図上で関連付けることが難しい。

⇒一方、衛星画像等による判読は付属屋も含めた全ての建物を判読している。り災判定の建物数と比較する際は、解体申請1件あたりの申請棟数(約1.5棟/件)を考慮することとした。

# イ. 衛星画像判読結果とり災判定の比較・整合

- 位置情報を付与したりり災判定と衛星画像等の判読結果を一棟一棟突合※し、被害程度の比較(一致・不一致の確認)を行った。

り災判定(件)と判読結果を比較した表

一括 (益城町、東区)		り災判定(件)					付属屋 申請なし 被害なし等	計	
		全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	小計			
判読 結果	突合 した 建物	大	401	8	6	1	416	746	1,162
		中	410	89	69	0	568	1,867	2,435
		小	690	240	257	0	1,187	9,148	10,335
		なし	892	298	450	2	1,642	62,290	63,932
	小計	2,393	635	782	3	3,813	74,051	77,864	
突合しない建物		72	22	31	0	125	-	125	

※表の黄色の部分がり災判定と判読結果の位置が突合した建物である。建物ポリゴンの作成時期が古い等の要因により、解体申請の住所に建物ポリゴンが存在しない場合は突合せず、これらは検討の対象外とした。(125件)

- 判読結果に占めるり災判定の各被害程度の割合を整理した。割合を算出する際、り災判定の件数を解体申請1件あたりの建物棟数や解体率\*を用いて棟数に変換した。
- 益城町では被害大(全壊相当)と判読した建物のうち、約8割は全壊のり災判定であった。

判読結果に占めるり災判定の被害程度

益城町		解体率で変換したりり災判定(棟)					被害なし	計	
		全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	小計			
判読 結果	突合 した 建物	大	695	67	51	17	830	159	989
		中	652	809	337	0	1,798	0	1,066
		小	955	1,820	1,281	0	4,056	0	2,736
		なし	1,099	1,787	2,562	34	5,481	7,106	12,587
	小計	3,401	4,483	4,230	51	12,165	7,265	19,430	

\*解体率:り災証明書が発行された家屋等のうち、解体申請が上げられる建物の割合は建物の被害程度によって異なる。

判定区分	り災証明(棟)※1	解体申請(件)※2	解体率※3
全壊	3,021	1,940	73.6%
大規模半壊	-	282	-
半壊	3,193	270	8.5%
一部損壊	4,368	3	0.1%
計	10,582	2,495	23.6%

※1 熊本県発表(2/28時点)の益城町における住宅被害

※2 2016年10月時点の申請数

※3 全壊の申請率は大規模半壊を含む

益城町		判読結果に占めるり災判定の割合				
		全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	小計
判読 結果	大	84%	8%	6%	2%	100%
	中	36%	45%	19%	0%	100%
	小	24%	45%	32%	0%	100%
	なし	20%	33%	47%	1%	100%

被害程度の比較や災害廃棄物発生量への影響を考慮し、特に全壊建物における判読精度を引き上げる必要性が示された。そのため、全壊建物が衛星画像等では被害なし~被害中と判読される要因を現地調査にて確認した。(⇒P6)

## ウ. 相違の分析(り災判定と判読結果)

- り災判定と判読結果における被害程度の相違について、要因を確認するため、**主に判読結果に差異がある建物**(特にり災判定では全壊だが、判読では被害なし～被害中とした建物)を選定\*して現地調査を行った。その結果、確認した建物74棟のうち、約7割は上空から撮影された**衛星画像の判読とり災判定の特性上、被害程度を一致させることが難しい**ことが明らかとなった。
- 一方、約1割の建物はり災判定のデータベース化における問題(住所の不一致)によって被害程度の相違が生じていた。また、約1～2割の建物は作業者の判読基準が不明瞭だったことなどが要因であり、判読基準の改善により精度向上が見込まれることが明らかとなった。

被害程度の相違が生じる要因	衛星画像による把握	精度向上手法	調査建物棟数	調査建物に占める割合
衛星画像から把握困難(建物壁面・基礎の損壊)	△ (一部可能)	推計手法の検討	48	65%
衛星画像から把握困難(ブルーシートの被覆)			4	5%
衛星画像から把握困難(地盤沈下等による損壊・傾斜)	1		1%	
住所の不一致(母屋・付属屋の影響)	6		8%	
住所の不一致(住所から位置情報を付与する際のエラー)	3		4%	
判読基準(作業者の認識違い)	○ (可能)	判読基準の改良・判読手順の作成	12	16%
計			74	100%

\*抜き取り調査では解体申請で全壊で衛星画像判読で不一致の建物を中心に調査した。  
全壊: 59棟  
大規模半壊: 7棟  
半壊: 1棟  
解体申請なし: 7棟

- これらより、要因別の精度向上手法を検討した。衛星画像による把握が部分的に可能・困難な建物については推計手法を検討することとした。一方、判読の改善により衛星画像による把握が可能な建物については、判読基準の確定や判読手順の作成による精度向上を検討した(⇒P8, 9)。

衛星画像から建物被害を把握できる例: 全壊



衛星画像からは建物被害の把握が難しい例



建物壁面・基礎の損壊で全壊とされる例



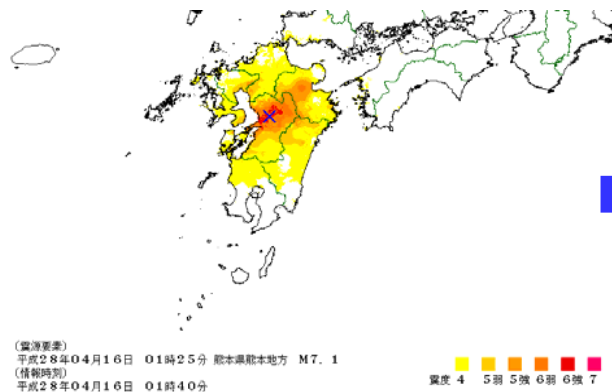
## エ. 検証結果と今後の検討事項

- リ災判定と衛星画像等による判読結果の比較結果から、衛星画像等による把握が可能な建物/難しい建物を整理した。
- 益城町では木造家屋が比較的によく、全壊した建物の8割は衛星画像判読により、何からの被害状況が確認できることが分かった。
- 一方、全壊の判定においても、壁面や建物基礎の損壊、液状化等による家屋の傾斜は上空から撮影されている衛星画像では把握が困難であることが改めて確認された。

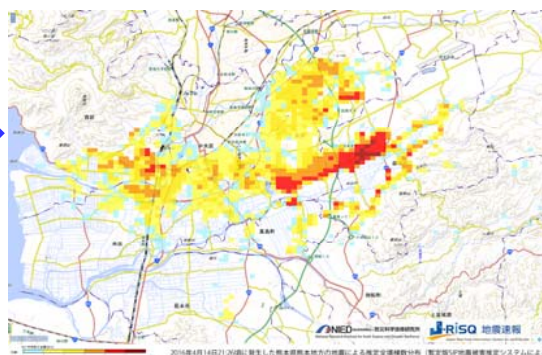
### 【今後の検討事項】

- GIS情報等を併用することで、震度分布等の情報より周辺地域の建物被害(倒壊密集域)を考慮することができ、建物被害の推計精度を向上できる可能性がある。
- 衛星画像からの判読が困難な建物被害(液状化等による沈下、ブルーシートによる被覆等)について、被害の把握方法を検討する必要がある。

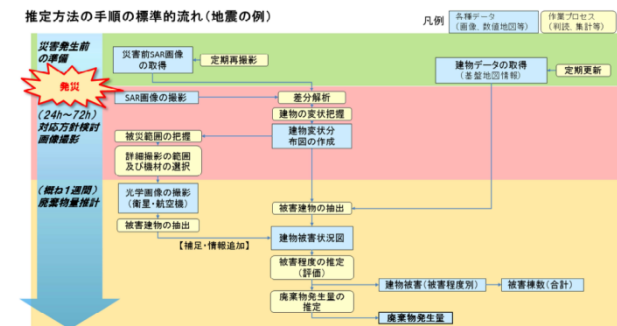
推定震度分布(気象庁)



震度情報を用いた推定  
全壊棟数分布(防災科研)

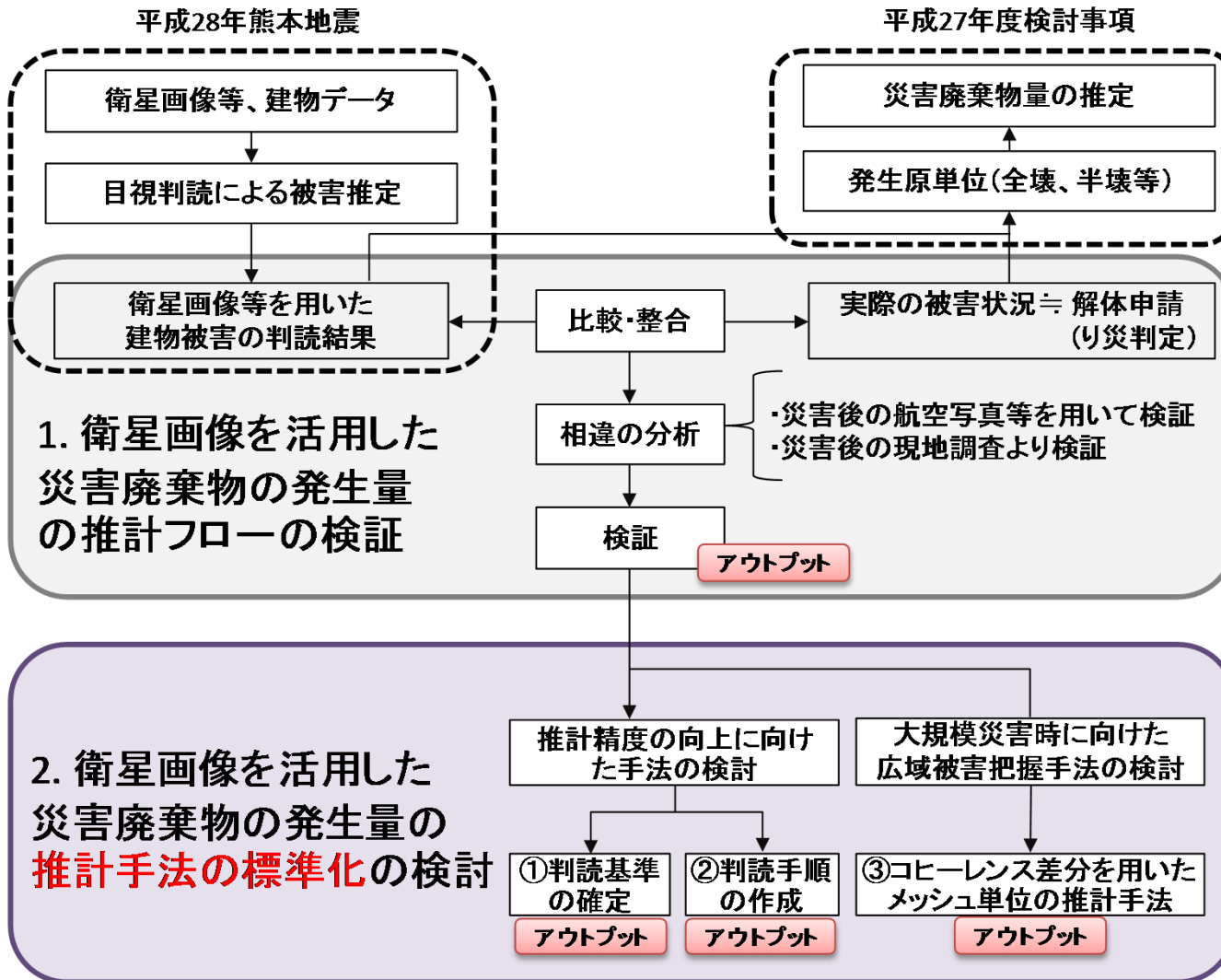


平成27年度に整理した推計フロー

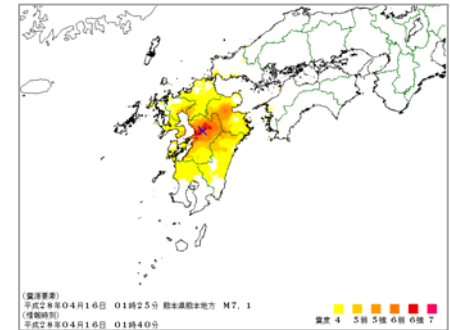


## 2. 衛星画像を活用した災害廃棄物の発生量の推計手法の標準化の検討

- 平成28年度熊本地震における衛星画像等を用いた建物被害推計の検証結果を踏まえ、**推計手法の標準化**を検討すべく、①家屋被害の判定基準の確定、②判読作業者に向けた「目視判読手順」の作成、③大規模災害時を想定した広域把握手法を作成した。

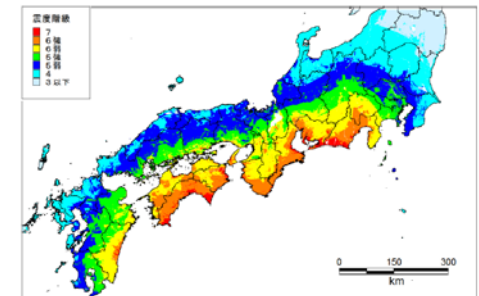


熊本地震の震度分布(気象庁)



南海トラフ巨大地震においては30都府県に影響が及ぶと想定されており、判読による被害把握には物理的な課題が挙げられる。

南海トラフ震度の最大値の分布図(内閣府 南海トラフ巨大地震対策検討WG)

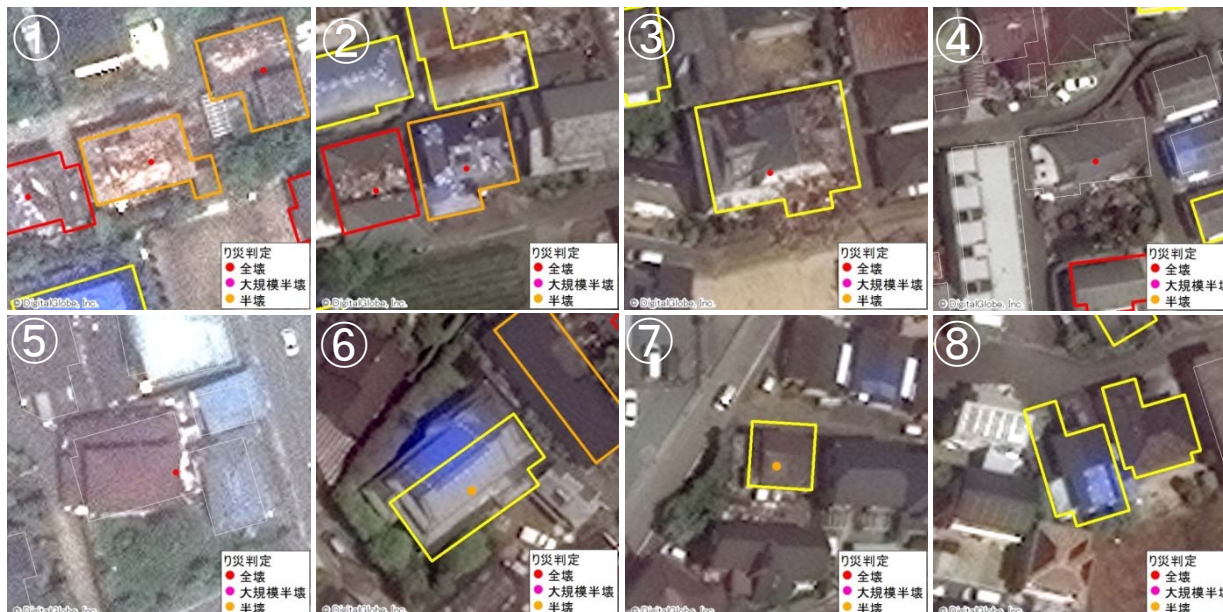




# ①家屋被害の判定基準の確定

○ リ災判定との突合や現地調査によって明らかとなった実被害と判読結果の差異、また判読作業者による認識の違いを踏まえ、判読基準を改良した。

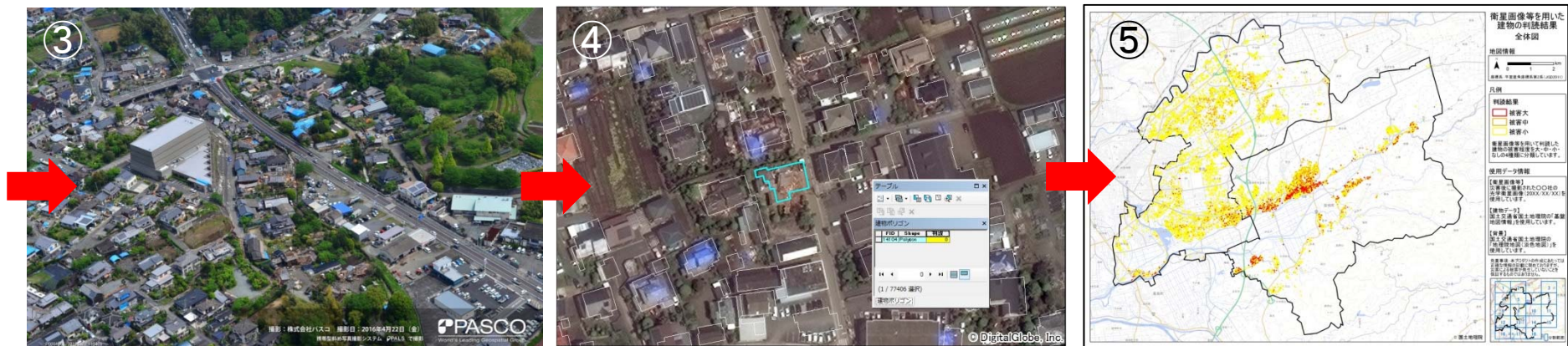
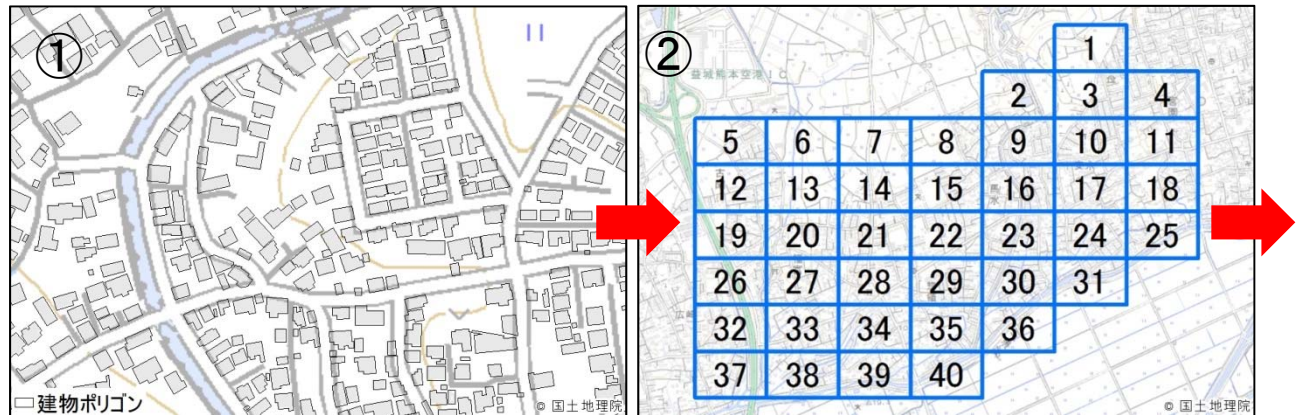
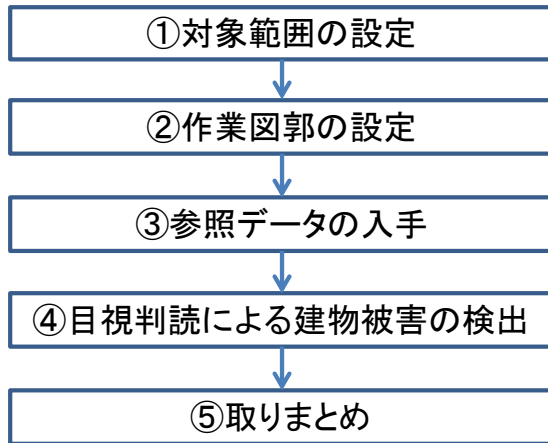
判読評価	判読基準(平成28年4月時点)	改良した判読基準(案)
被害大 (全壊相当)	建物が倒壊している。 (例:一階部分が押しつぶれているもの)	①一見して住家全体が倒壊している。(小屋組の損傷が著しく、葺材の大部分が損傷を受けている。) ②屋上仕上面全面にわたって大きな不陸(ふぞろい)、亀裂、剥落が見られる。(屋根瓦の大部分が落下している。) ③仕上材(壁の表面材料)が脱落し、建物周辺に多数の瓦礫等が散乱している。 ④倒壊した建物の壁面が見えている。 ⑤損傷した建物の一部が道路や隣の敷地に出ている。
被害中 (半壊相当)	建物の外形は残るが壁面が落下しているもの、または屋根瓦の大半が落下している。 (壁面、屋根瓦が落下するほど建物に大きな変位があり、構造に補修を必要とする被害があると想定)	⑥屋根瓦の一部(全体の三分の一未満)が落下、またはブルーシートが掛けられている。 ⑦建物の外形は残るが、建物周辺に瓦礫(脱落した仕上材等)が見られる。(難易度高)
被害小 (一部損壊相当)	屋根瓦の一部が落下している。	⑧屋根瓦のごく一部が落下、またはブルーシートが掛けられている。



⇒既存の判読基準では過小評価の傾向があり、新たな基準では被害程度を引き上げた。また、作業者間で認識の違いが出ないように、具体的に記載した。

## ②判読作業者向け「目視判読手順」の作成

- 作業者が効率的に画像判読や取りまとめを行い、また作業ミス等を減らすため、判読手順を作成した。
- 災害時の早急な対応に向け、事前の取り組みとしては判読に用いる建物データや地形図、取りまとめテンプレートを作成した。



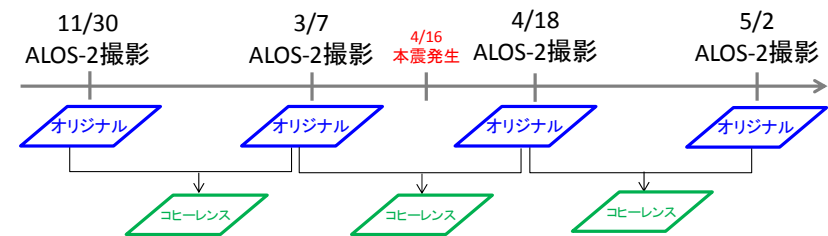
### ③大規模災害時を想定した広域を把握するための手法の検討

○ 大規模災害時を想定した被害の推計には、(1)緊急時のデータ入手の迅速性、(2)撮影範囲の広域性、(3)撮影機会、(4)平時との比較のしやすさを考慮し、ALOS-2衛星(SAR画像)を用い、SAR画像のコヒーレンス(干渉性)の変化より、建物被害を推定した。

※ ALOS-2衛星は、2014年5月に宇宙航空研究開発機構(以下「JAXA」)が打ち上げた地球観測衛星「陸域観測技術衛星(Advanced Land Observing Satellite 2)」である。

衛星名	ALOS-2	WorldView-2,3/GeoEye-1	Pleiades 1A/ Pleiades 1B	SPOT6~7	先進光学衛星
外観					
打ち上げ年	2014年5月	2014年8月	1A:2011年12月 1B:2012年12月	SPOT-6:2012年9月 SPOT-7:2014年6月	2019年(予定)
開発国	日本	米国	フランス	フランス	日本
運用機関(会社)	JAXA	DigitalGlobe社	CNES	AIRBUS Defence & Space社	JAXA
センサ	SAR(Lバンド)	光学			
分解能	3m (国内の高分解能モード)	30~50cm	70cm	1.5m	1m以下(予定)
観測幅	50~70km (分解能3mモードの場合)	13~15km	20km	60km	50~70km(予定)
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)の後継機。</li> <li>国内外の大規模自然災害に対し、関係機関の防災活動、災害対応において利用実証を行う。</li> <li>災害状況の把握に加え、国土管理や資源管理など平時のニーズにも対応した多様な分野における衛星データの利用拡大を図る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>商業衛星の中では高分解能を持つ衛星。</li> <li>WorldView-3は民間の地球観測衛星では世界最高の3m分解能で画像撮影が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1回の撮影範囲が20km×20kmと、他の超高解像度光学衛星に比べて約1.5倍の広さを撮影することができる。</li> <li>2号機と組み合わせると、北緯40度以上の地域では毎日1m分解能での撮影が可能となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIRBUS Defence &amp; Space (BAE Systems)社が製造・打上げ・運用する初の完全商業衛星。</li> <li>SPOT-4.5の後継機。</li> <li>SPOT-6、7、Pleiades-1AおよびPleiades-1Bとタンデム運用が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JAXAによる陸域観測衛星「だいち」(ALOS)の後継機。</li> <li>平成27年度に開発着手し、平成31年度を目途に運用開始する。</li> <li>分解能1m以内で日本全域を高頻度に観測し、防災・災害対策等を含む広義の安全保障、地図・地理空間情報の作成・更新等、様々なニーズに対応する。</li> </ul>

熊本地震の場合、1シーン内に益城町及び熊本市東区が観測されており、コヒーレンス解析は1日程度で実施された。要する時間は衛星の撮影タイミング(ALOS-2は14日毎に回帰)やアーカイブ(災害前画像)の有無に影響を受ける。(別途、取りまとめにも時間を要する)



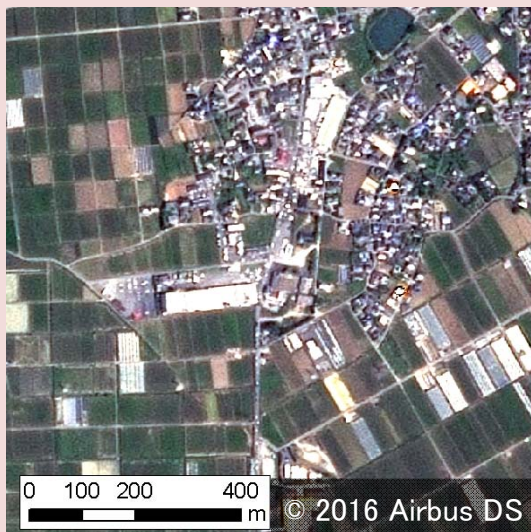
推計では、本震後に緊急撮影された衛星画像(2016/4/18)及び同じ撮影条件で観測されたアーカイブ画像を用いる。

No	撮影日	備考
1	2015/11/30	地震前
2	2016/3/7	地震前
3	2016/4/18	地震後
4	2016/5/2	地震後

## 【参考】画像の特徴(光学衛星とSAR衛星)

### 光学衛星画像

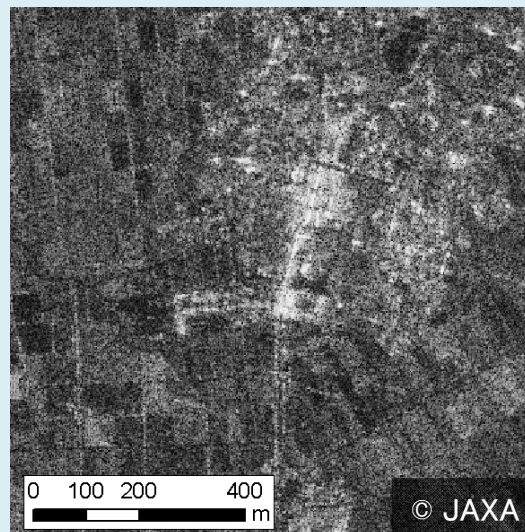
- 太陽光の反射から画像生成
- 強度の情報
- 雲や煙の影響を受け、昼間のみ撮影可能
- 見た目で分かりやすい



撮影日: 2016/04/20  
衛星: SPOT-7  
分解能: 1.5m

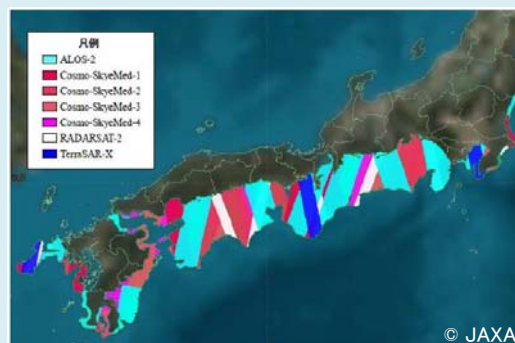
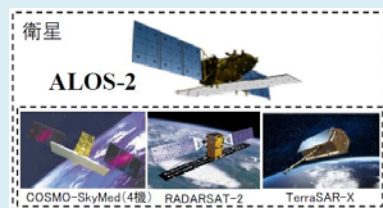
### SAR衛星画像

- マイクロ波の反射から画像生成
- 強度と位相の情報(⇒位相情報からコヒーレンス算出)
- 悪天候や夜間でも撮影可能
- 同撮影条件の画像と比較が容易



撮影日: 2016/04/15  
衛星: ALOS-2(高分解能モード)  
分解能: 3m

### 大規模災害時における SAR衛星の観測シミュレーション



ALOS-2及び海外衛星の7機による観測シミュレーション結果

南海トラフ巨大地震の被害想定範囲(95%カバー)を撮影する場合、ALOS-2単独(高分解能モード3m)による観測シミュレーションでは9~10日程度要し、海外の人工衛星(7機)を組合わせて3~4日で撮影可能と推定している。(出典:JAXA配布資料)

# 【参考】SAR画像の利用事例

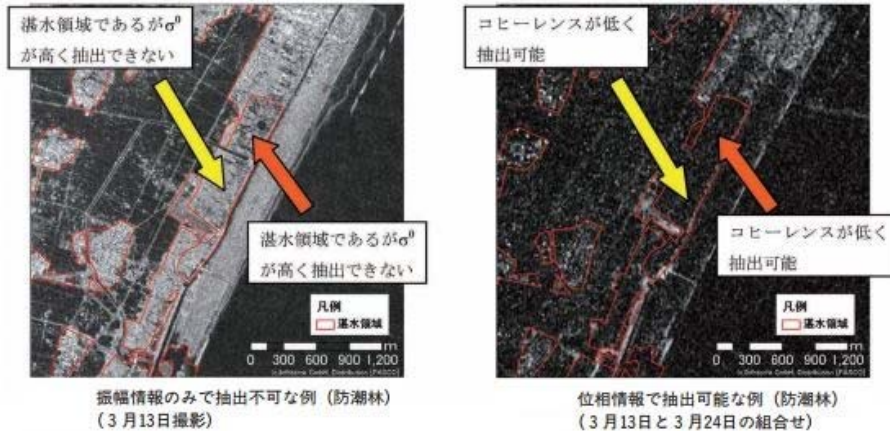
## SAR画像に含まれる情報

### 位相 (Phase)

波の位置であり、0~360度までの角度で表される。位相は1周すると元(0度)に戻るため、距離の絶対値を知ることができない。観測した2回の位相情報を比較し、観測間で波形が類似しているか(干渉している度合)を示すのがコヒーレンスである。一般的に地表面の著しい変化があった箇所や水面は干渉せず、コヒーレンスが低い。

#### <利用事例>

#### コヒーレンスを用いた津波湛水域の把握



強度のみでは抽出できない湛水域の把握が可能である。例えば、防潮林の下で湛水している領域について抽出が可能である。また、湛水が引いた後の浸水箇所についても抽出できる可能性がある。

出典: 高分解能XバンドSAR衛星による東日本大震災大津波の湛水域モニタリング(パスコ), 写真測量とリモートセンシング, VOL.50, NO.4, 2011

### 強度 (Intensity)

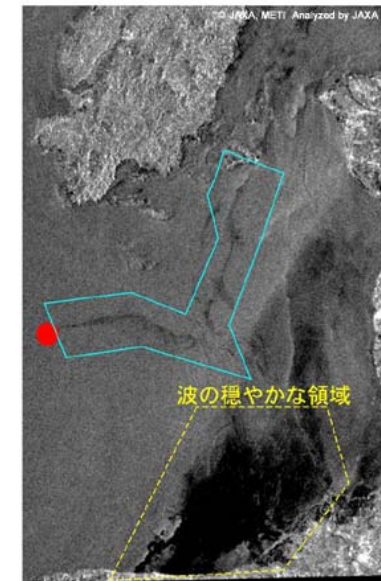
SAR衛星から送信したマイクロ波が地表面で反射(後方散乱)し、アンテナに戻ってきた時の信号の強度である。強度は地表面の状態に変化し、建物が多い市街地等は反射して戻ってくる信号が強い。一方、河川・海等の水面や滑らかな表面を持つ飛行場の滑走路等はアンテナへ戻ってくる信号が弱く、SAR画像上では暗く表される。

#### <利用事例>

#### 強度画像を用いた海上オイル漏れ災害検出

平成18年8月11日、フィリピン中部ギマラス島沖で発生したタンカー沈没によって流出したオイルの漂流の様子がALOS衛星(SAR画像)で確認された。右図では、タンカーの沈没地点である赤い点を起点に、黒い筋として流出したオイル(青枠)が視認できる。

オイルに覆われた海面は滑らかな面となり、画像の強度が低くなり暗くなるため、その他の海面との識別が可能である。



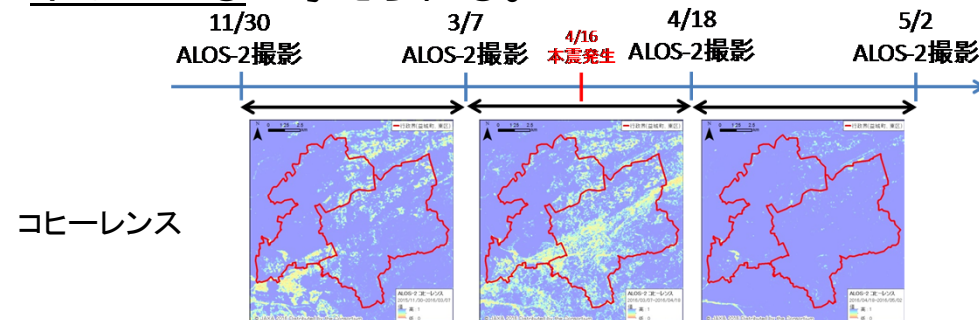
8/25 02:14:03 (Descending)

ALOS PALSAR(L-band)\_ScanSAR

出典: PALSARを用いた海上オイル漏れ災害検出 (JAXA)  
<[http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img\\_up/jpal\\_oil200608.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jpal_oil200608.htm)>

## コヒーレンスの低下と建物被害の対応

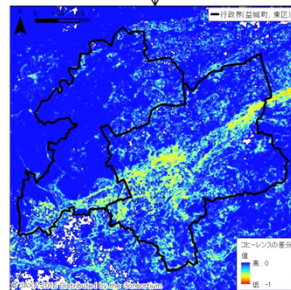
- コヒーレンス(干渉性)とは、2時期の画像間で位相情報が干渉している度合である。大規模災害時に向けた推計手法ではコヒーレンスの低下より被害の把握を検討した。
- 観測データが干渉するのは2回の観測で位相の波形が十分に類似している(地表の状態がほぼ変わらない)場合であり、著しく変わった場合には干渉性が低下する。
- 地震前後で家屋の**倒壊や廃棄物等の散乱**等が発生している箇所ではコヒーレンスが低下していると考えられる。



コヒーレンス

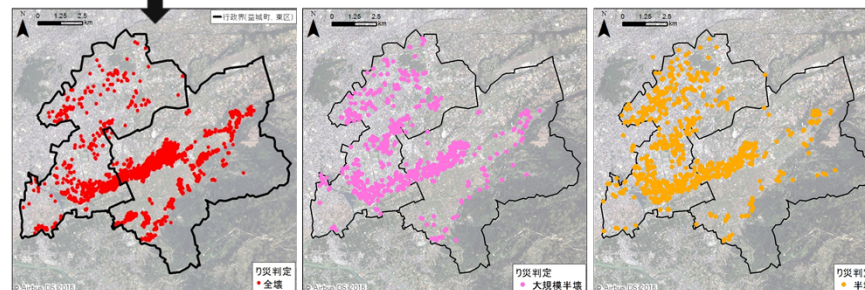
地震前同士や地震後同士のコヒーレンスは高いのに対し、災害前後のペアではコヒーレンスが低下している。

コヒーレンスの差分



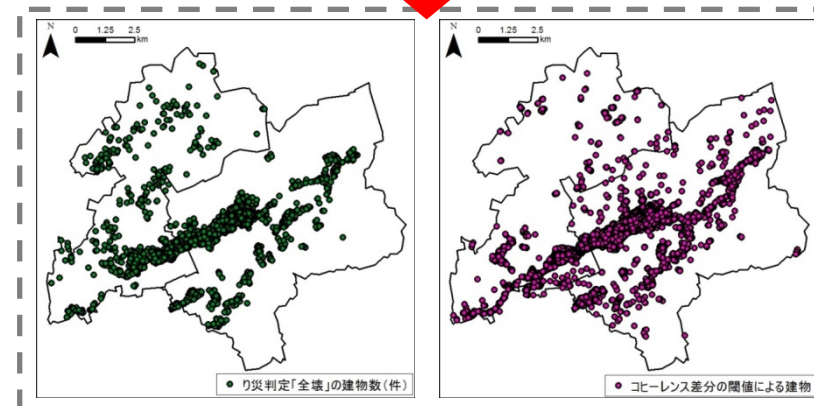
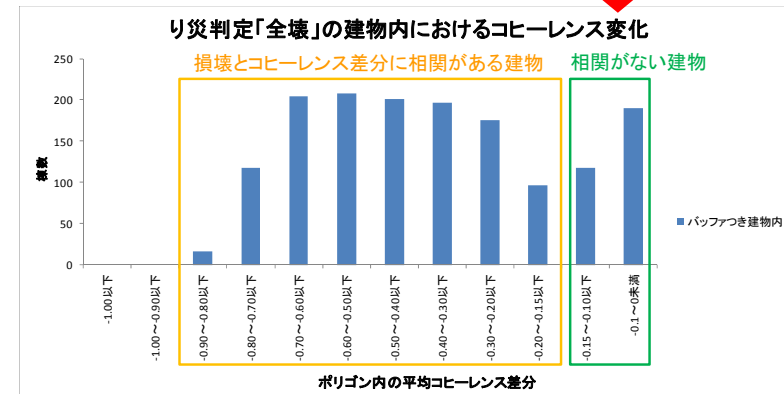
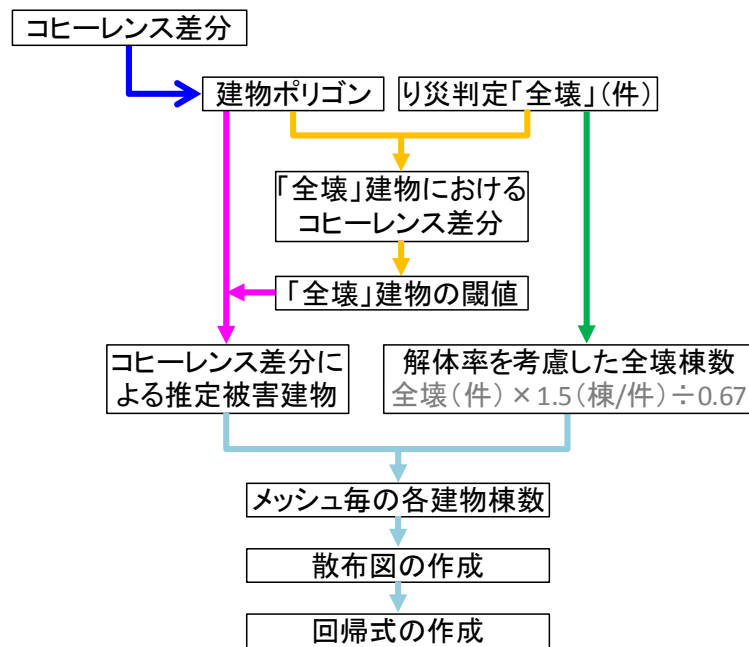
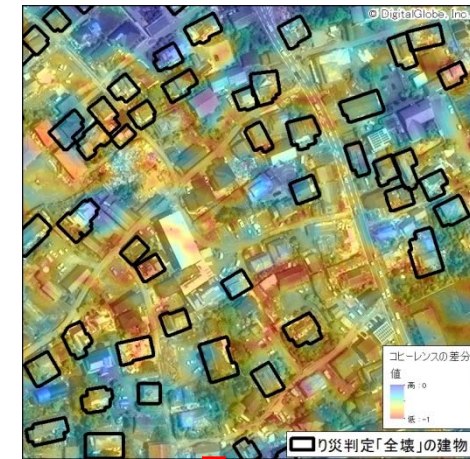
地震前後のコヒーレンスと地震前のコヒーレンスの差分を取ると、地震前後の期間に生じた変化が示される。特に「**全壊**」の建物と同様の分布がみられる。

り災判定(解体申請)



# コヒーレンス差分を用いた建物被害の抽出

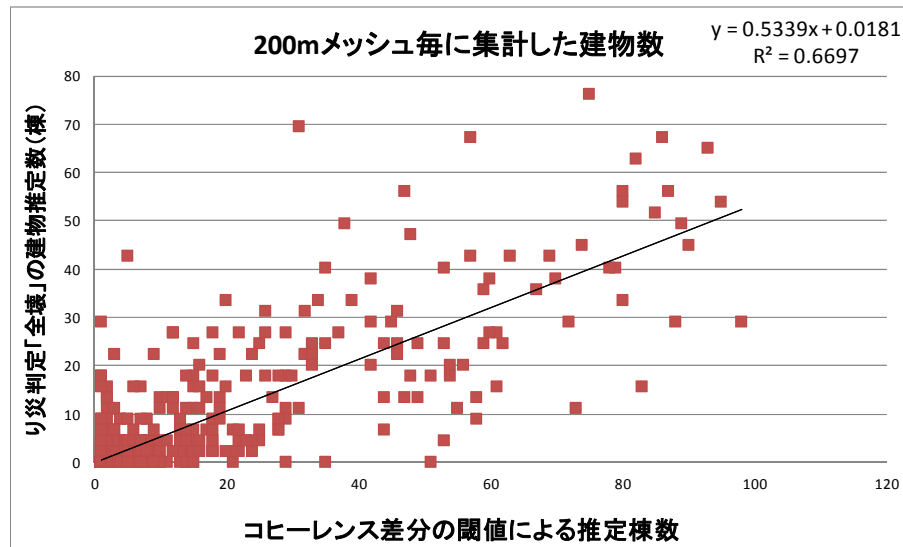
- リ災判定「全壊」の建物内におけるコヒーレンス差分を集計し、閾値を決定し、建物を抽出した。その結果、抽出された建物は全壊の建物と同様の分布であることが示された。
- コヒーレンスの差分は、各建物ポリゴン内におけるコヒーレンスの変化(災害前後コヒーレンス画像－災害前コヒーレンス画像)の平均値を算出して用いた。



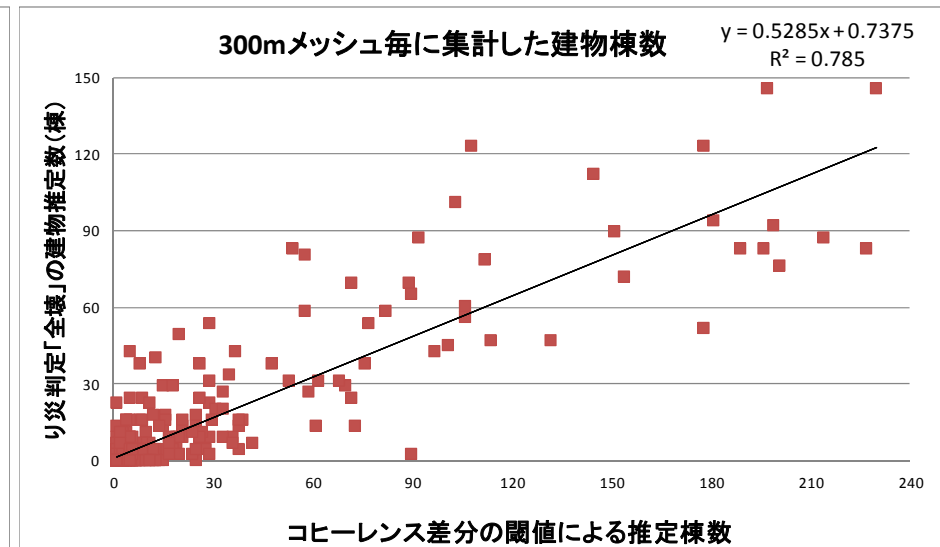
※解体率は既存研究の成果を引用  
 牧 紀男、堀江 啓、林 春男「阪神・淡路大震災の公費解体と災害廃棄物—どのような物理的被害の建物が解体されたのか—」日本建築学会計画系論文集、第81巻 第730号、2723-2729、2016年12月

## メッシュ単位の被害棟数の推計

- コヒーレンス差分による推定結果と、1件あたりの申請棟数(1.5棟/件)や解体率(全壊の解体率※:67%)を考慮した「全壊」の推定棟数をメッシュ単位で比較し、回帰式を作成した。その結果、メッシュサイズを大きくすることで空間分解能は下がるが、モデル式の当てはまりが良くなることが示された。
- これらの成果を活用することで、大規模災害時に衛星画像からメッシュ単位で建物被害棟数推計の可能性が示された。今後、閾値や回帰式の精度検証を検討する。



(コヒーレンス差分により抽出された建物が0の場合を除く)



(コヒーレンス差分により抽出された建物が0の場合を除く)

R2(決定係数): データと回帰式(近似式)の相関を示しており、1.0に近いほど式はデータに近似している。

※解体率は既存研究の成果を引用

牧 紀男、堀江 啓、林 春男「阪神・淡路大震災の公費解体と災害廃棄物—どのような物理的被害の建物が解体されたのか—」日本建築学会計画系論文集、第81巻 第730号、2723-2729、2016年12月