

# リモートセンシング

(独)産業技術総合研究所  
地質調査情報センター 松岡昌志

## 内容

- リモートセンシングとは？
- 空撮画像からみた地震被害
- 人工衛星画像による地震被害の把握
  - 分解能, センサの種類, 特徴, 緊急観測枠組み
  - 光学センサ画像からの被害判読
  - 合成開口レーダ(SAR)からの被害把握
  - 震度情報との統合

# リモートセンシングとは？



"Remote" means far away. Remote sensing means sensing things from a distance. Of **our** five senses **we** use three as remote sensors when we:

- watch a football game from the stands (sense of sight)
- smell freshly baked bread in the oven (sense of smell)
- hear a telephone ring (sense of hearing)

What are our other two senses and why aren't they used "remotely"?

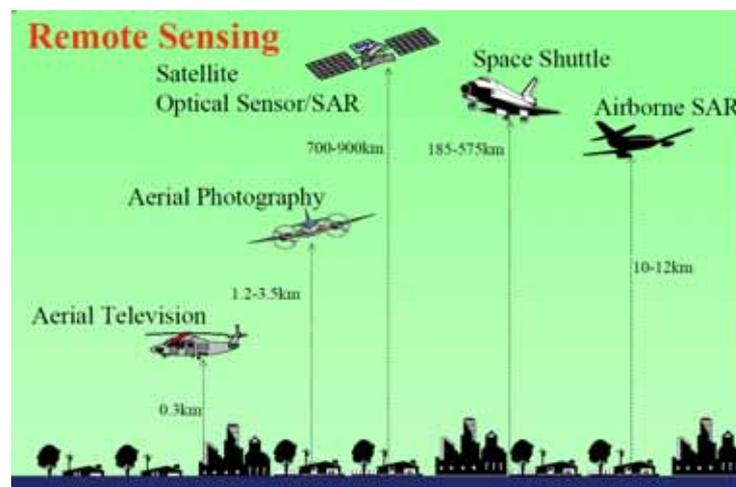
五感のうちの視覚

**five senses** (touch, taste, hearing, **eyesight**, and smell)

3

## 狭義のリモートセンシング

- 空や宇宙からの地球観測



様々なプラットフォームとセンサ

## 国際宇宙ステーションからの写真 (チリ地震当日に野口宇宙飛行士撮影)

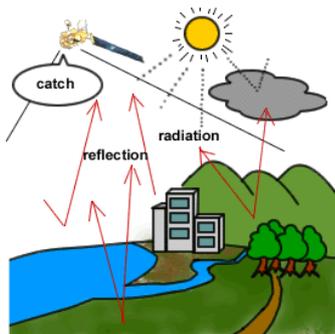
コンセプション



(資料:野口宇宙飛行士Twitter)

## 宇宙からのリモートセンシング

- 地球観測衛星のように遠く離れたところから、対象物に直接触れずに対象物の大きさ、形、性質を観測する技術
- 対象物が反射したり、放射したりしている光等の電磁波は、衛星等に載せられたセンサで受けとめる

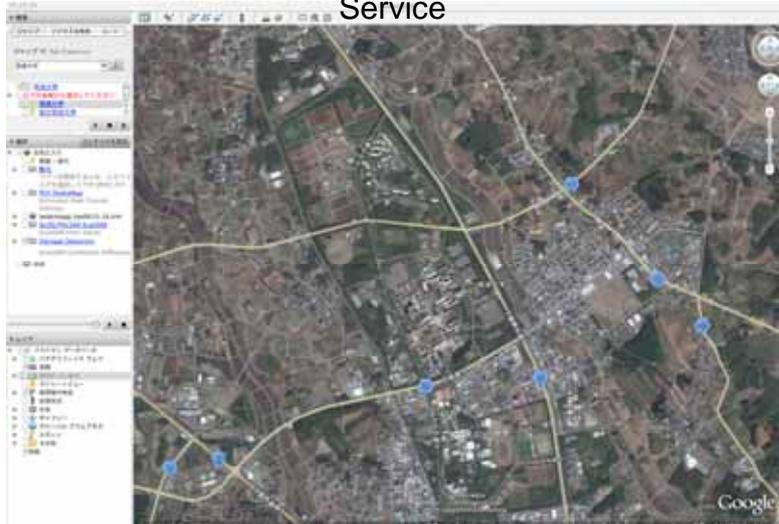


物質から反射、放射される電磁波の特性を把握し、それらの特性とセンサでとらえた観測結果とを照合し、対象物の大きさ、形、性質を知る

地球観測衛星による観測イメージ

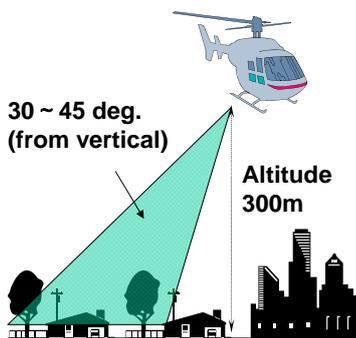
# Google Earth / Map

リモートセンシング画像を身近にしたWeb Service



## 空撮映像からみた地震被害

1995年阪神・淡路大震災後に撮影されたNHKハイビジョン映像（1995/1/27）



倒壊し瓦礫化した建物や全壊建物の多くは  
目視にて概ね判読可能



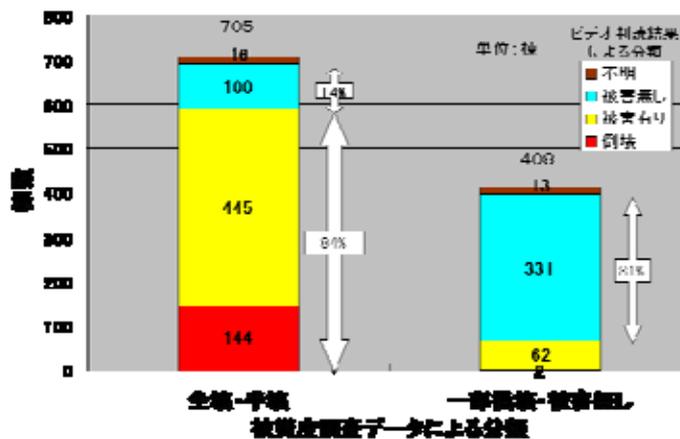
地上解像度：  
9 cm/pixel (画像の手前) , 17 cm/pixel (画像の奥)

西宮市の一部 (200m x 230m)

## 被災度調査データによる被害分布とビデオ映像判読による被害分布の比較



## 被災度調査データに対するビデオ映像判読結果の割合



被災度調査データ「全壊・半壊」 ビデオ判読結果「倒壊・被害有り」(84%)

被災度調査データ「一部損壊・被害無し」 ビデオ判読結果「被害無し」(81%)

ビデオ判読結果「被害有り」 ほぼ全てが被災度調査データ「全壊・半壊」

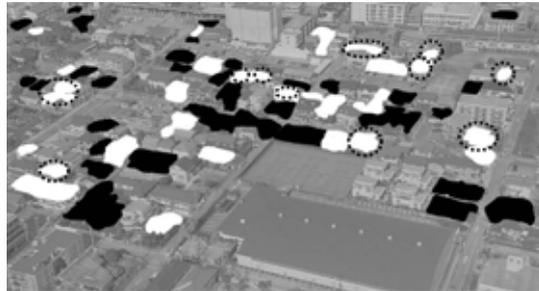
## エッジ情報からの被害建物抽出



被害が広域になった場合、目視による判読では被害の全体像の把握に時間と労力を有するため現実的ではないことから、画像処理により抽出。

瓦礫化した建物の画像のテクスチャ(エッジ)を評価して、抽出する。

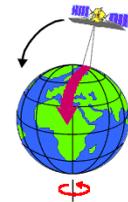
抽出結果  
黒色: 被害建物



現地調査結果  
黒色: 倒壊  
白色: 全壊  
(波線の建物はビニルシートがかかっているもの)

11

## 人工衛星リモートセンシング - 高分解能化 -



- 民生用での地上解像度の変遷  
- 1970年代: 80m, 1980年代: 30m, 90年代: 10m
- 軍事技術の分野では, 60年代の米国ですでに2m以下
- 1994年3月の大統領令により, 偵察衛星技術の一部民生転用を許可
- これによって, 2000年代は1m分解能の画像が利用可能
- 最近の商業衛星の分解能は約50cm (GeoEye, WorldViewなど)

# 画像分解能と対象物の認識

- ジョンソン基準 -

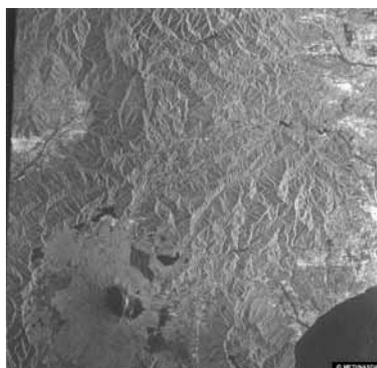
	対象物の大きさ
➤ 存在するかしないか:detection(検知)	1 ピクセル
➤ どの方向を向いているか:orientation(方向性)	2 ピクセル
➤ どんな種類のものか:recognition(認識)	5 ピクセル
➤ それが何なのか:identification(同定)	10 ピクセル



建物を被害として同定するためには最低でも1mの分解能が必要か  
建物群としてとらえれば、より低解像度でも定性的には認識可能か

## 合成開口レーダ(SAR)画像と光学センサ画像

合成開口レーダはマイクロ波を発射して、地表面からの反射信号を受信して観測する。昼夜天候に左右されずに、明瞭な画像を得ることができる。

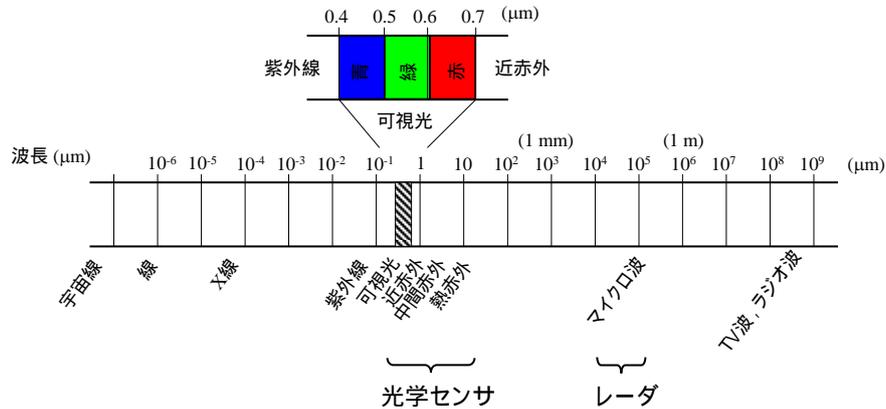


合成開口レーダ  
JERS-1/SAR



光学センサ  
LANDSAT-5/TM

## 電磁波の波長



15

## 日本が開発し運用中の衛星センサ

- Terra衛星搭載ASTER
  - 1999年打ち上げ, 可視・近赤外3, 短波長赤外6, 熱赤外5, 分解能 15m, 30m, 90m
  - 直下視と後方視の同時観測 (DEM生成, オルソ化容易)
- ALOS衛星搭載PRISM, AVNIR-2, PALSAR
  - 2006年打ち上げ
  - PRISM
    - パンクロマティック (白黒), 分解能2.5m, 3方視同時観測 (DEM生成, オルソ化容易)
  - AVNIR-2
    - 可視・近赤外4, 分解能10m
  - PALSAR
    - Lバンド合成開口レーダ (SAR), 分解能10m, 100m

16

## 国際災害チャータ

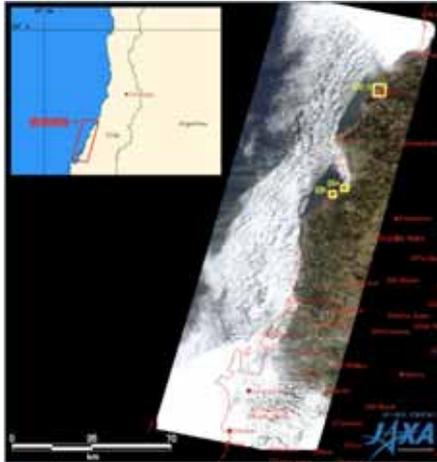
- 国際災害チャータとは、「自然災害または人為的災害時における宇宙施設の調和された利用を達成するための協力に関する憲章」
- 世界で災害の発生が予測される地域、あるいは災害が発生した地域を優先的に観測し、防災関係機関などへのデータ提供を通して、緊急事態の支援、復興および事後処理に資することを目的。
- 1999年7月国連UNISPACE III会議でフランス宇宙研究センター(CNES)と欧州宇宙機関(ESA)が発表。2000年6月に調印、その後、カナダ(CSA)、インド(ISRO)、アメリカ(NOAA)、アルゼンチン(CONAE)が加入。2005年2月に日本(JAXA)も加入。アメリカ(USGS)、英国(BNSC/DMC)と中国(CNSA)も加入。
- 火山、地震、洪水、火災、暴風雨、地滑りなど数多くを観測し、Webに主題図として公開。<http://www.disasterscharter.org/>

## センチネルアジア

- 「センチネル・アジア」は、アジア太平洋域の自然災害の監視を目的とした国際協力プロジェクト。
- 地球観測衛星など宇宙技術を使って得た災害関連情報をインターネット上で共有し、台風、洪水、地震、津波、火山噴火、山火事など自然災害被害を軽減、予防することが目的。
- 2005年に提唱され、2006年にプロジェクトチームが発足。現在、20ヵ国51機関、8国際機関が参加。
- JPEG画像の公開、Web GISによる画像の共有
- <https://sentinel.tksc.jaxa.jp/>

## 2010年チリ地震のAVNIR-2,PRISM画像

日時: 2010年2月27日3時34分, 規模: M8.8, 死者: 約800人



地震前: 2009/12/2 AVNIR-2  
地震後: 2010/3/4 AVNIR-2+PRISM



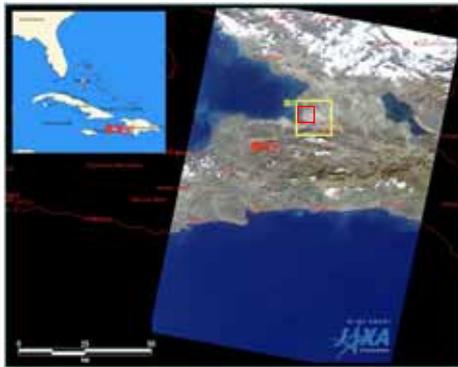
コンステイトゥション

(資料: JAXA)

19

## 2010年ハイチ地震のAVNIR-2画像

日時: 2010年1月12日16時53分 (1/13 JST), 規模: M7.0, 死者: 約20万人



地震前: 2007/6/3 (JST)  
地震後: 2010/1/14 (JST)



ポルトー・フランス中心地

(資料: JAXA)

20

# 2003年5月23日アルジェリア地震の被害判読



Zemmouri市における地震前後の QuickBird画像

分解能 : 60cm

2003/5/13

EMS-98に基づいた被害区分にて判読

Grade3: 部分大破  
Grade4: 大破・甚大被害  
Grade5: 倒壊



2003/5/23

Includes material © 2003 DigitalGlobe, Inc. ALL RIGHTS RESERVED

## EMS98 (被害判定基準)

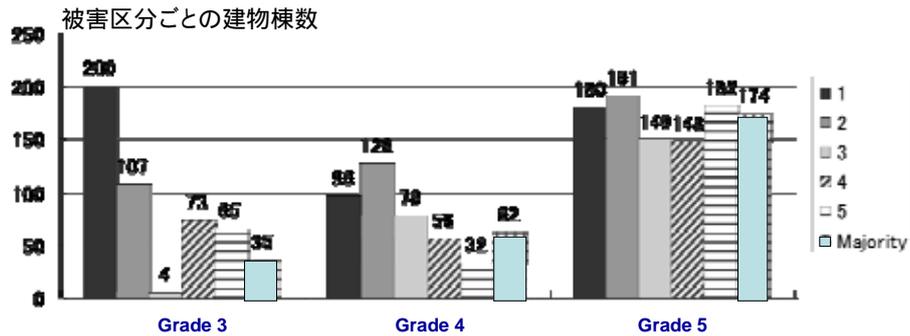
Classification of damage to masonry buildings	
	<b>Grade 1: Negligible to slight damage</b> (Slight structural damage, slight non-structural damage) Hair-line cracks in masonry walls. Minor displacement of plaster walls. Minor displacement from supports of buildings in masonry areas.
	<b>Grade 2: Moderate damage</b> (Slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in masonry walls. Minor displacement from supports. Small displacement of masonry.
	<b>Grade 3: Substantial to heavy damage</b> (Substantial structural damage, heavy non-structural damage) Large and numerous cracks in masonry walls. Some loss of plaster. Changes in position of the ends of masonry walls. Structural damage to masonry walls.
	<b>Grade 4: Very heavy damage</b> (Heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Severe loss of masonry and structural failure of masonry walls.
	<b>Grade 5: Total collapse</b> (Very heavy structural damage) Total or near total collapse.

## 被害判読の個人差

5名(土木・建築分野)による被害判読の比較

過半数を超えたもの

Interpreter	1	2	3	4	5	Majority
Grade 1 or 2	923	973	1168	1122	1120	1128
Grade 3	200	107	4	73	65	35
Grade 4	96	128	78	56	32	62
Grade 5	180	191	149	148	182	174
Total	1399	1399	1399	1399	1399	1399

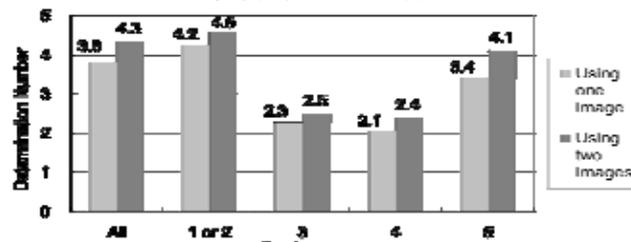


倒壊については個人差がほとんどないが中程度の被害では判読結果がばらつく

(資料: 山崎@千葉大) 23

## 地震前後の画像を比較することによる精度向上

被害判定の一致度



地震前後の画像を用いることで、判読者の判定が近づく

判読にかかった時間

Interpreter	#1	#2	#3	#4	#5	Ave.
Post image only	2.5	4	3	4	2.5	3.2
Two images	5	3.5	4.5	5	2.5	4.0

地震前後の画像を用いることで、判読時間がやや長くなる。1400棟の建物の判読に約4時間かかる。

(資料: 山崎@千葉大) 24

# 画像目視判読による被災建物調査

2010年1月12日ハイチ地震の被災地を観測した高分解能衛星画像 (GeoEye-1, Worldview-2) や航空写真を用いて、世界中からボランティアを募り、被災建物の被害程度を判読し、被害統計として整理。

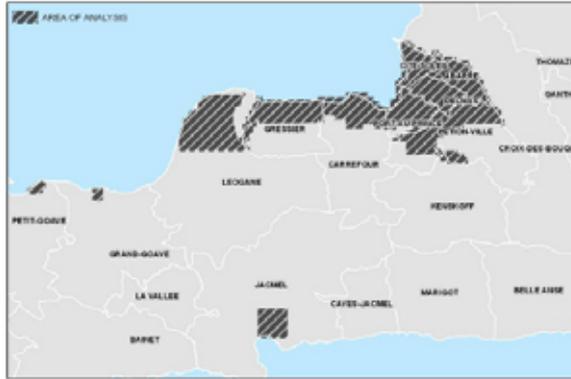


Figure 3. Area of Analysis.



## 被害判読例



**Level 5 - Destruction:** All or most of building structure collapsed. Here: Collapsed/broken roof, walls destroyed (debris surrounding building)



**Level 4 - Very heavy damage:** Part of building structure collapsed, such as part of roof or one or more fallen walls. Here: Wall fallen into street (bright debris)



**Level 3 - Substantial to heavy damage:** Limited damage observed to building, or no damage observed but immediately adjacent to destroyed or very heavily damaged building. Here: Centre building assessed has limited damage (some debris to the left of building), but bright building adjacent (above) severely damaged as seen in collapsed walls (debris to the left of building)



**No visible damage:** Assessed building does not appear to be damaged. Here: Centre building with brown roof seems intact. No debris or collapsed structure is observed. Neighboring buildings do not show damage either, providing contextual information to help decide on the "no damage" state.

## 被害集計結果

Grade1～3については、教師エリア内での各Gradeの建物棟数割合に基づき、判読したGrade4, 5の建物棟数から推定。

Commune	EMS-98 Damage Classes				
	5	4	3	2	1
<b>CARREFOUR</b>	2763	5905	5920	3220	35219
Commercial	250	355	249	261	71
Industrial	47	45	38	40	11
Residential high density	194	378	331	211	1867
Residential low density	1921	4151	4771	2802	29926
Shanty	351	976	531	106	1344
<b>CITE SOLEIL</b>	1012	549	1073	576	6408
Agricultural	3				
Industrial	89	44	55	57	16
Residential low density	745	416	912	498	5722
Shanty	175	89	106	21	665
<b>DELMAS</b>	5012	2814	5064	2881	29478
Commercial	82	54	56	59	16
Industrial	291	130	173	182	50
Residential high density	1662	848	1453	925	8191
Residential low density	2251	1581	3011	1842	18886
Shanty	726	201	371	74	2336
<b>GRAND-GOAVE</b>	148	541	421	276	2175
Commercial	8	33	17	18	5
Industrial	19	82	42	44	12
Residential high density	60	263	187	119	1054
Residential low density	61	163	176	96	1104
<b>GRESNER</b>	565	289	567	319	8436
Agricultural	79	31			
Commercial	26	22	20	21	6
Residential low density	460	236	547	298	3430
<b>JACMEL</b>	214	1785	1489	857	8799
Commercial	22	153	72	75	21
Industrial	4	40	18	19	5
Residential low density	188	1592	1399	763	8773
<b>LEOGANE</b>	2220	5985	4139	2360	24736
Agricultural	726	1975			
Commercial	132	348	198	207	56
Industrial	4	13	7	7	2
Residential low density	1358	3649	3934	2146	24677

Commune	EMS-98 Damage Classes				
	5	4	3	2	1
<b>PETION-VILLE</b>	2027	906	1693	708	10614
Commercial	10		4	4	1
Residential low density	938	410	1059	578	6644
Shanty	1079	496	630	126	3969
<b>PETIT-GOAVE</b>	173	104	167	116	770
Commercial	78	24	42	44	12
Industrial	1	1	1	1	
Residential high density	32	25	33	21	186
Residential low density	62	54	91	50	572
<b>PORT-AU-PRINCE</b>	9902	15257	12351	6699	62693
Commercial	1548	2269	1572	1647	449
Downtown	451	487	386	405	110
Industrial	53	127	74	78	21
Residential high density	3091	4370	4285	2727	24151
Residential low density	960	1385	1843	1005	11558
Shanty	1859	6619	4191	838	26405
<b>TABARRE</b>	532	365	663	383	3914
Agricultural	3	2			
Industrial	47	53	41	43	12
Residential high density	1		1		3
Residential low density	481	310	622	339	3899
<b>Total</b>	<b>24062</b>	<b>34500</b>	<b>33546</b>	<b>18395</b>	<b>188236</b>

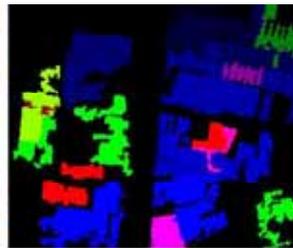
by EC, JRC, UNITAR, UNOSAT, GFDRR, CNIGS

27

## オブジェクト型画像処理による被害判読

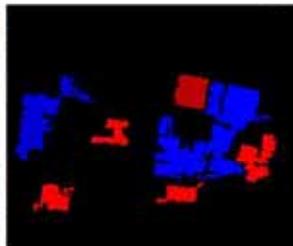
地震後の画像では被害建物は「建物」として明瞭ではないことから、画像処理によって抽出される「建物」の分布や数が異なる。

地震前



差分を求めることで被害建物やその程度を推定することが可能になる。

地震後



Includes material © 2003, 2004 DigitalGlobe, Inc. ALL RIGHTS RESERVED

28

## オブジェクト型画像処理の例 (建物の影を判別)

2003年アルジェリア地震  
のQuickBird画像

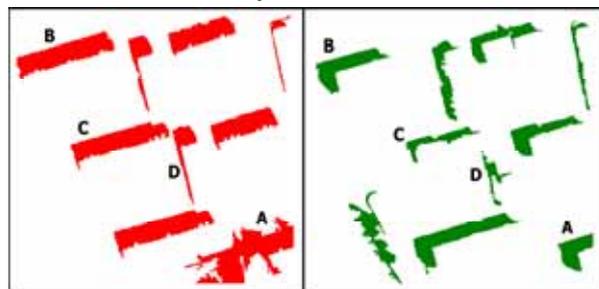


### 建物の影を判別

建物の変形が影の乱れとして映されることを利用する。

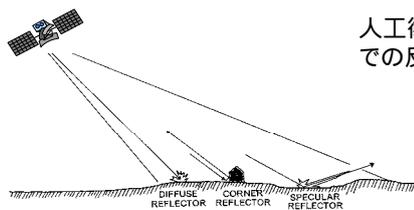
層崩壊のように上からの判読が困難な被害建物であっても、建物の高さが変わることで、影の長さなどが変わる。

目視判読と併用することで、被害判読精度が向上する。



Includes material © 2003 DigitalGlobe, Inc. ALL RIGHTS RESERVED

## 合成開口レーダ (SAR)



人工衛星や航空機から照射したマイクロ波の地表での反射波 (後方散乱) の振幅と位相を観測

画像には観測される受信信号が複素数で記録される。

$$c = a + ib$$

振幅 (強度):  $I = a^2 + b^2$

位相:  $\theta = \tan^{-1} (b / a)$



強度画像



位相画像

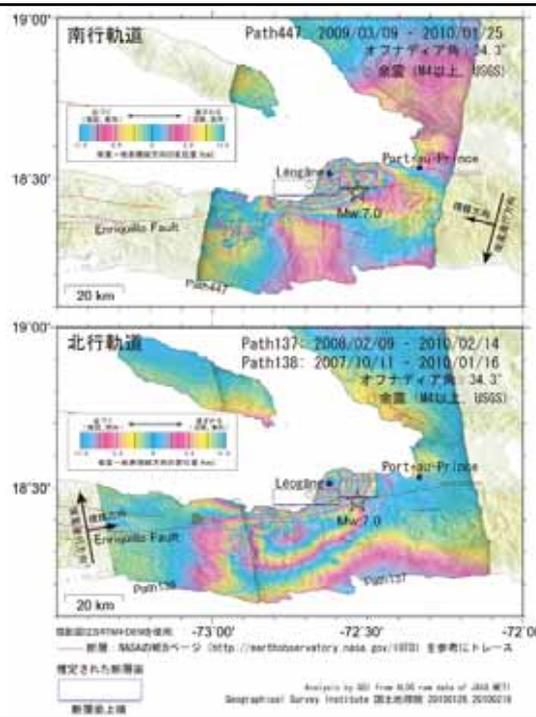
# ハイチ地震の 干渉SAR解析

地震前後のSAR画像の位相差を計測することで地殻変動をcmオーダーで把握できる。

干渉画像を元に推定した矩形断層一様すべり(2枚のセグメントを仮定)の震源断層モデル:

1. 主たる破壊域は全長約35km
2. 逆断層成分を含んだ左横ずれのすべり(約5m)
3. 西側海域のセグメントでより浅く大きなすべり

(資料: 国土地理院)



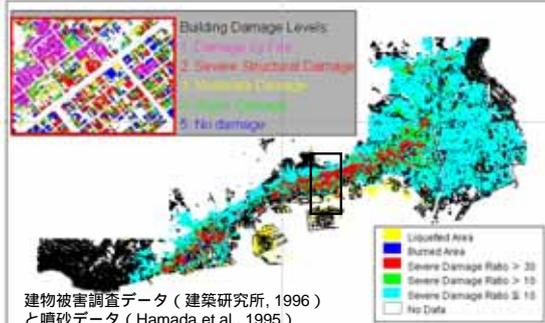
# 1995年阪神・淡路大震災後のSAR画像



ERS/SAR画像  
地上分解能: 30m

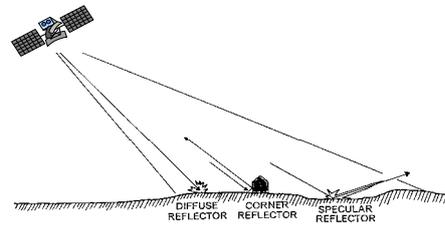
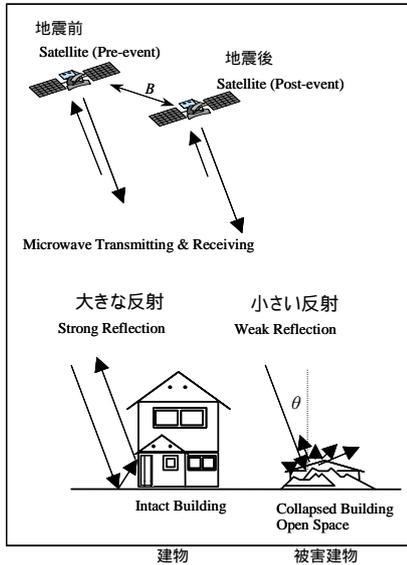
地震後のSAR画像のみを用いて、被害を目視で判読するのは困難。

拡大図



建物被害調査データ (建築研究所, 1996) と噴砂データ (Hamada et al., 1995)

## 建物被害地域における後方散乱特性



- 被害地域における後方散乱係数：  
大きい(地震前)，小さい(地震後)
- 後方散乱係数の差分：  
(地震後 - 地震前)  
被害地域 < 無被害地域
- 被害地域では強度の空間分布が変化する。  
相関が低下

33

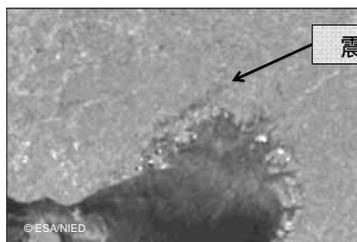
## 地震前後のSAR画像 (差分画像，相関画像)



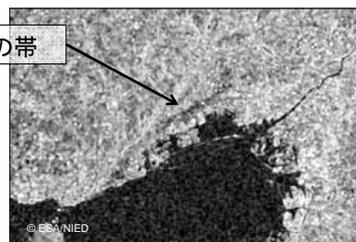
地震前 (1994/10/12)



地震後 (1995/5/23)



差分 (地震後 - 地震前)

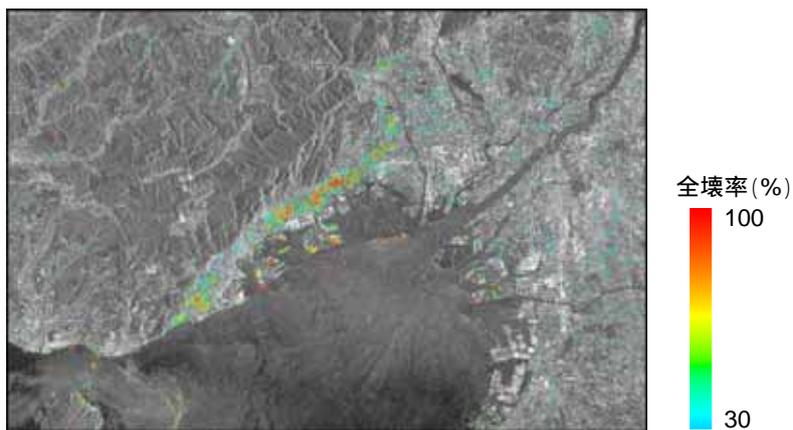


相関係数 (暗いところが相関が低い)

34

# SARから推定した全壊率分布

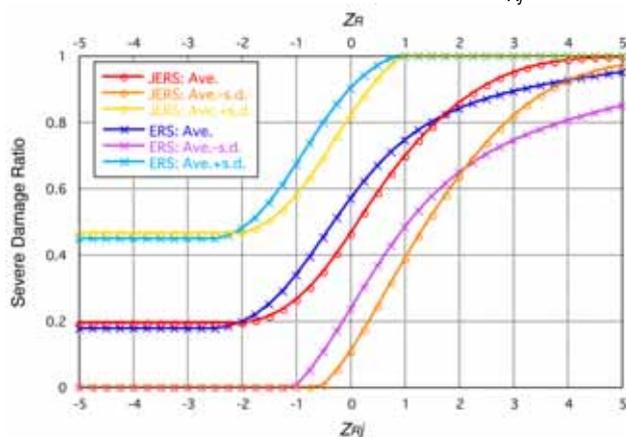
地震前後のSAR画像の差分( $d$ )と相関( $r$ )から求めた合成変量から建物全壊率を推定



35

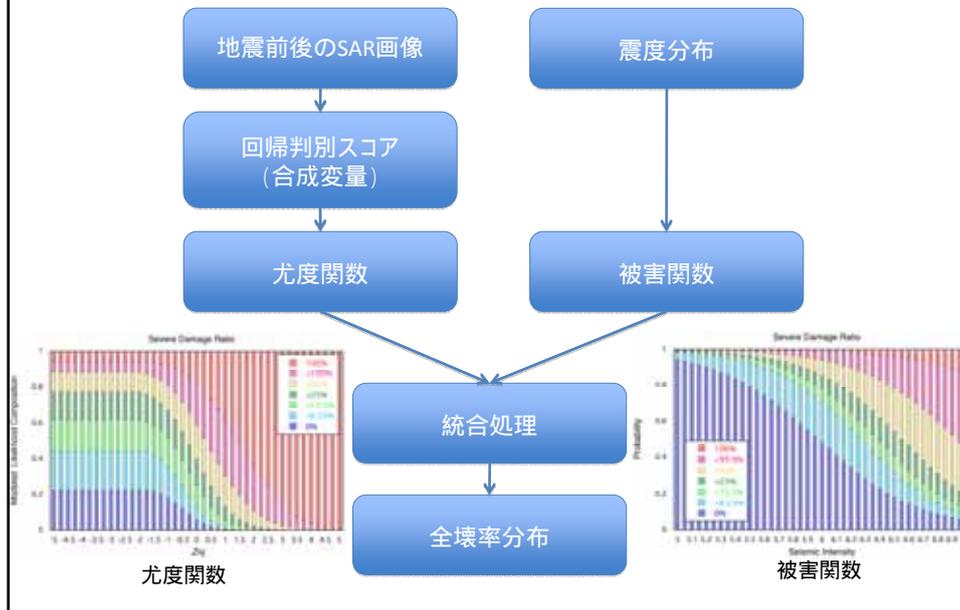
# 合成変量と建物全壊率の関係

差分( $d$ )と相関( $r$ )から求めた合成変量  
Cバンド用:  $Z_R = -1.210 d - 4.360 r$   
Lバンド用:  $Z_{Rj} = -1.277 d - 2.729 r$



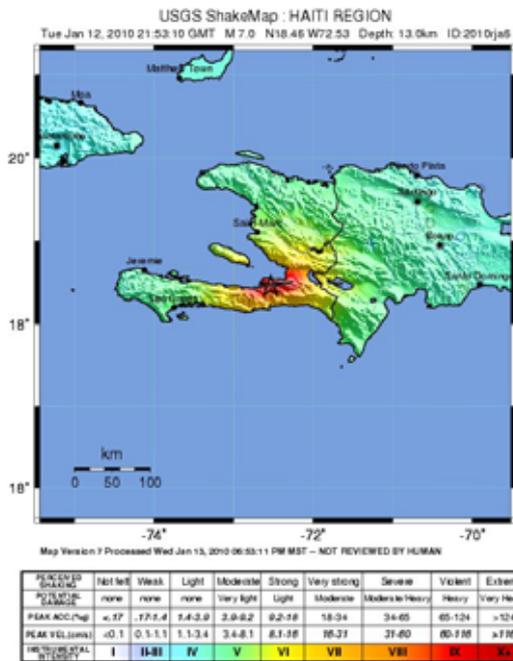
合成変量 ( $Z_R, Z_{Rj}$ ) からは全壊率20%程度以下の推定に限界がある。  
他の情報との統合処理

# SAR画像と震度情報の統合処理



## 2010年ハイチ地震への適用

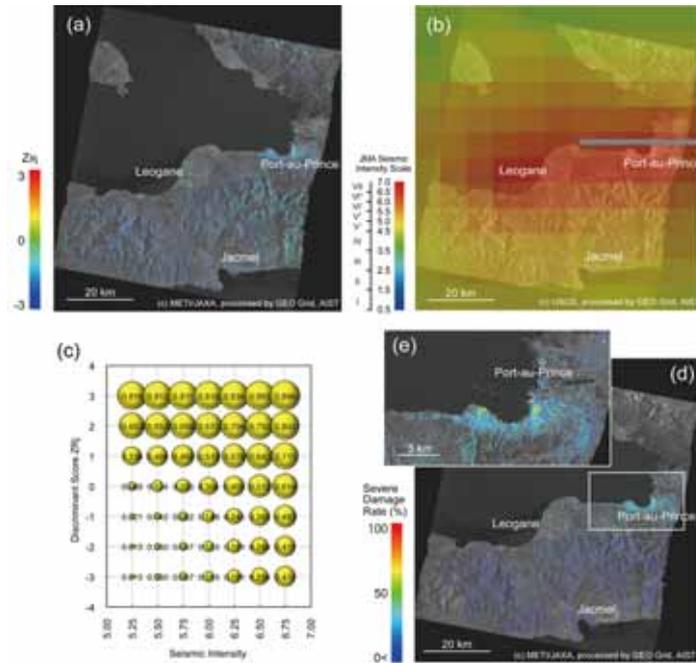
- ✓ 年月日: 2010年1月12日
- ✓ 震源: M7.0, 深さ13km
- ✓ 死者・不明者: 21万人以上



(USGS 2010)

# 統合処理と 推定全壊 率分布

- (a) 合成変量分布
- (b) ShakeMap (UGSG) から推定した震度分布
- (c) 統合処理
- (d), (e) 統合処理による推定全壊率分布

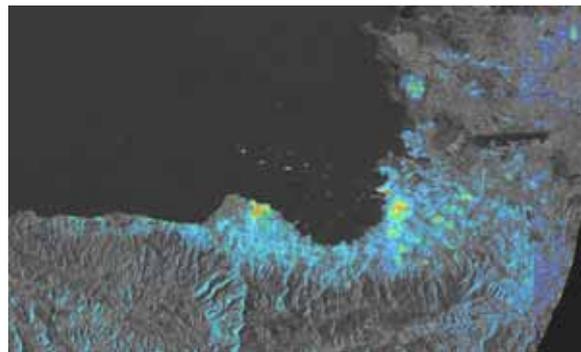


# 光学センサ画像による判読との比較

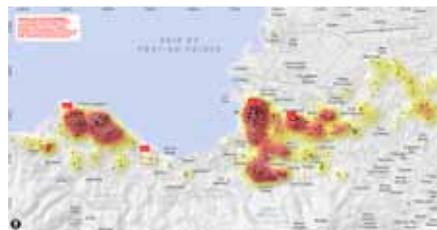
光学センサ画像から  
目視判読した瓦礫  
分布

Severe  
Damage  
Rate (%)

100  
50  
0<



Source: GeoEye-1  
Date: Jan. 13, 2010



Satellite Data (1) ..... GeoEye-1  
 Imagery Date(s) ..... 13 January 2010  
 Resolution ..... 50cm  
 Copyright ..... GeoEye 2009  
 Satellite Data (2) ..... QuickBird 2  
 Imagery Date ..... 4 March 2008  
 Copyright ..... DigitalGlobe  
 Source ..... Google Earth  
 Road & Urban Data ..... Clear Street Map  
 Place Names ..... Google Map Maker  
 Other Data ..... MINUSTAH UGSG, NSG4  
 Elevation Data ..... ASTER GDEM  
 Source ..... MITI & NASA 2009  
 Analysis ..... UNITAR / UNOSAT  
 Map Production ..... UNITAR / UNOSAT  
 Projection ..... UTM Zone 18 North  
 Datum ..... WGS-84 (GDM-94)  
 Map Data © 2009 Google -  
 Improve with Google Map Maker  
 The description and use of boundaries, geographic names and related data  
 shown here are not warranted to be accurate nor do they imply official  
 endorsement or acceptance by the United Nations. UNOSAT is a  
 program of the United Nations Institute for Training and Research  
 (UNITAR), providing satellite imagery and related geographic information  
 research and analysis to UN humanitarian & development agencies &  
 their implementing partners.

