

第1回リモートセンシング技術を用いた災害軽減に関する研究委員会

話題提供資料

合成開口レーダ (SAR) による地震被害把握 (松岡昌志)

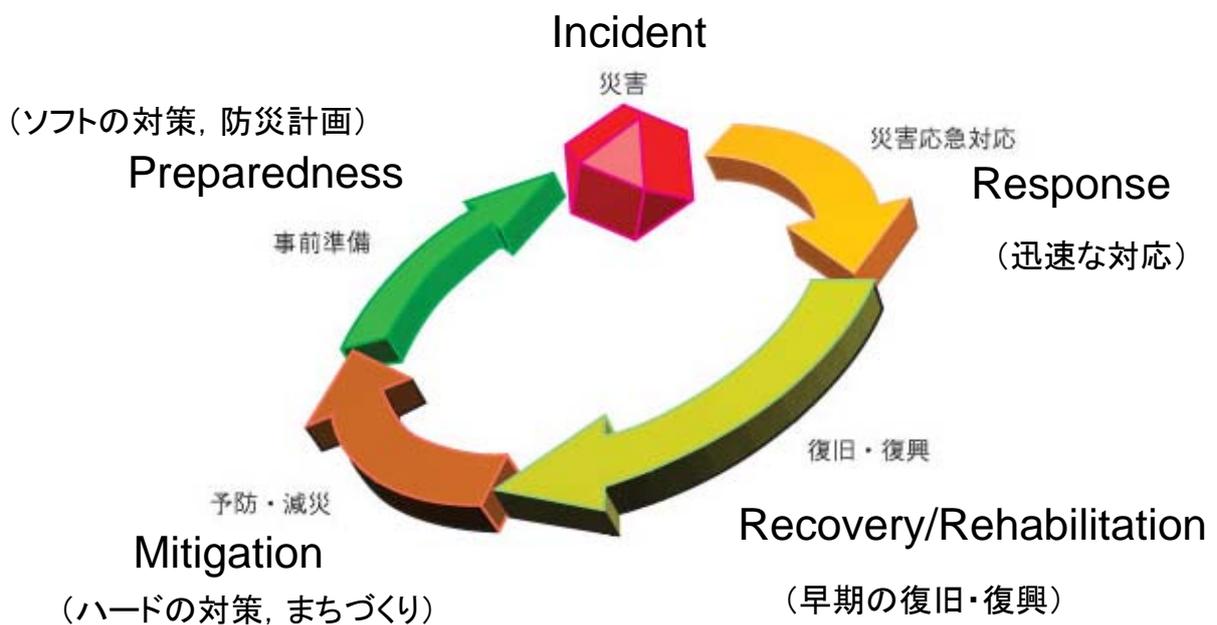
リモートセンシング技術による建物インベントリと地震被害想定 (三浦弘之)

合成開口レーダ (SAR) による地震被害把握

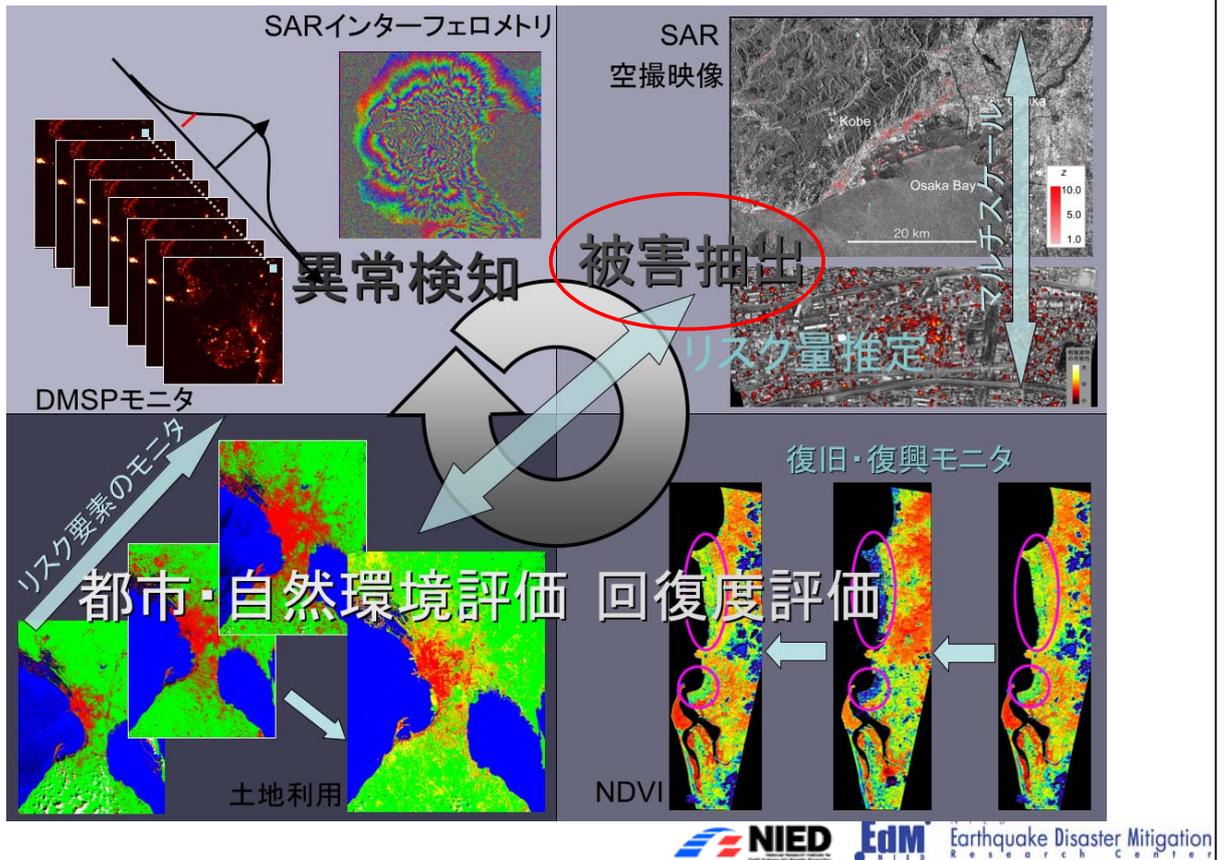
防災科学技術研究所
地震防災フロンティア研究センター
松岡昌志



防災サイクル



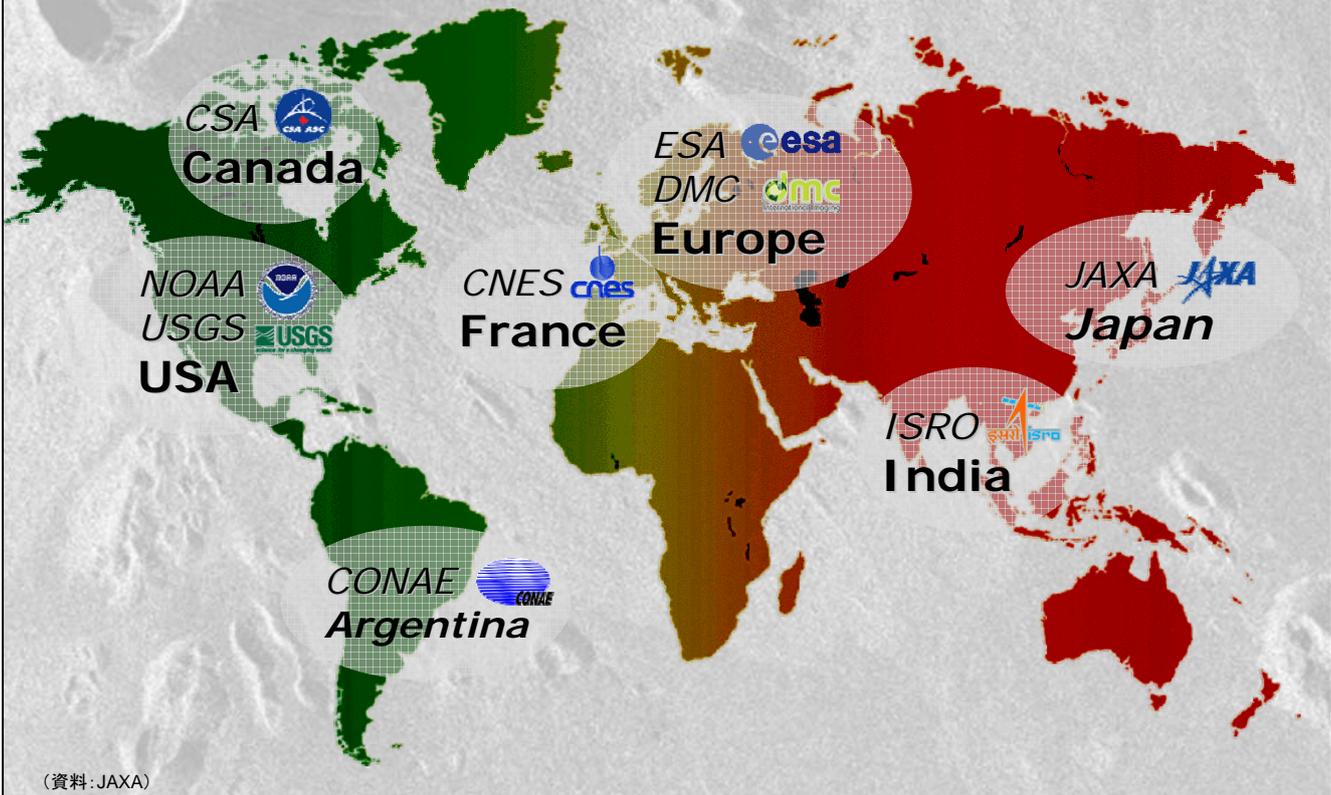
防災サイクルを意識した画像処理の例



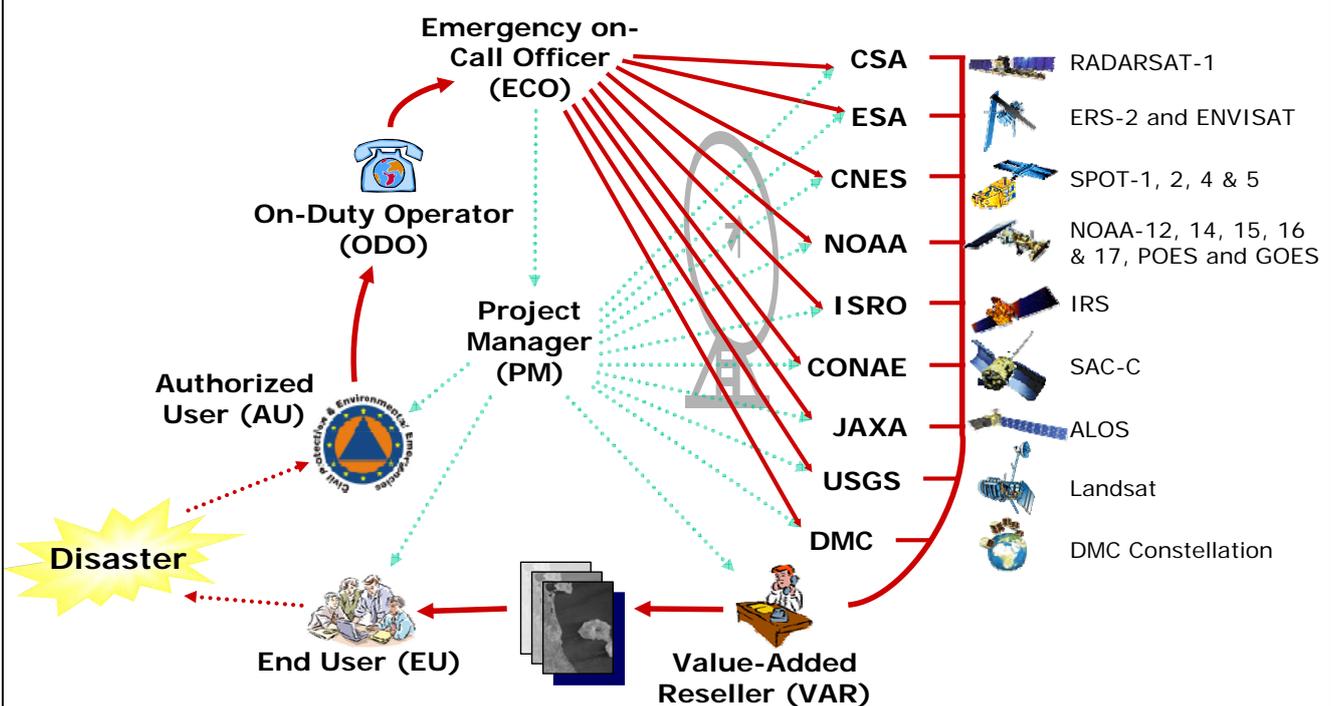
国際災害チャータ

- 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, USGS)、アルゼンチン(CONAE)が加入。2005年2月に日本(JAXA)も加入。
- Webサイト: <http://www.disasterscharter.org/>

Charter Member Agencies

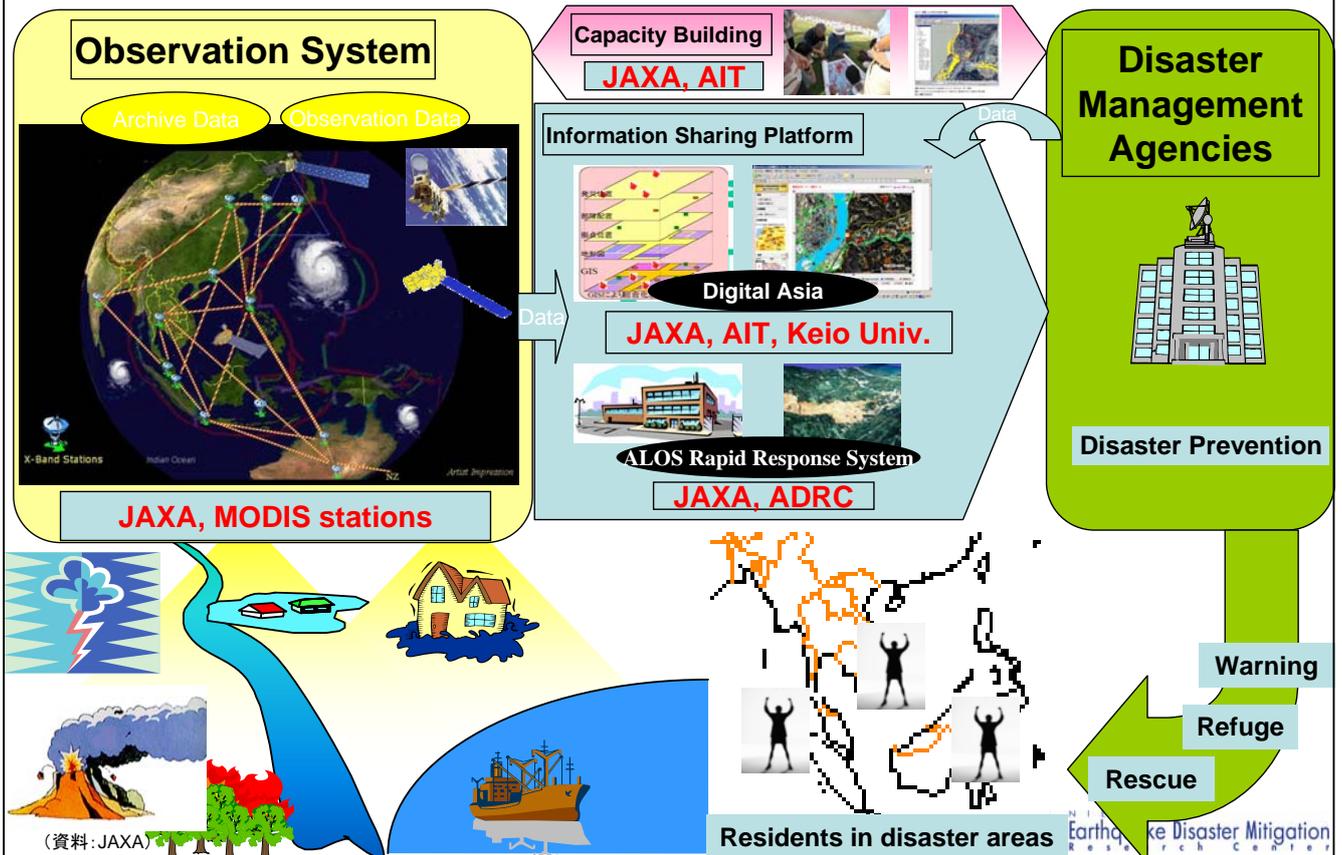


Charter Operational Loop



(資料: JAXA)

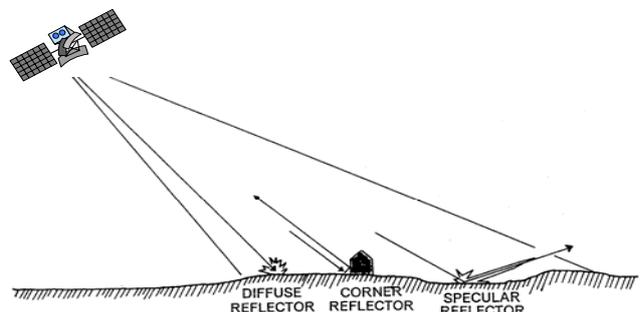
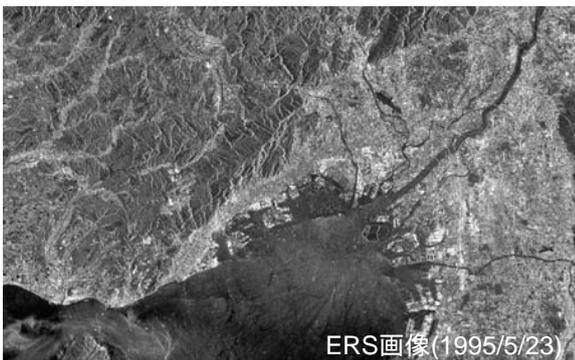
Sentinel Asia



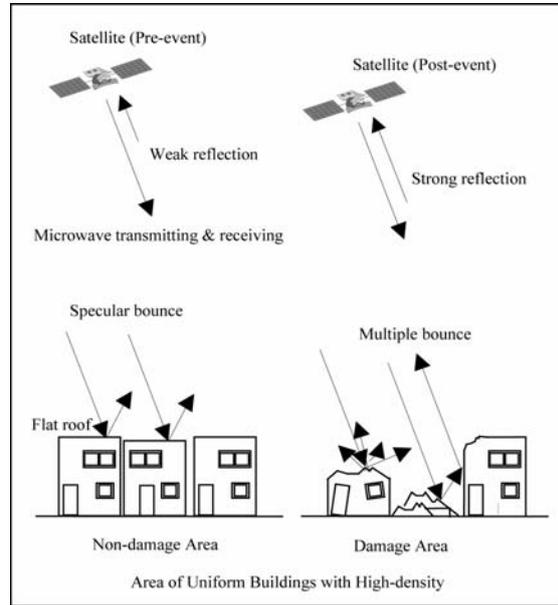
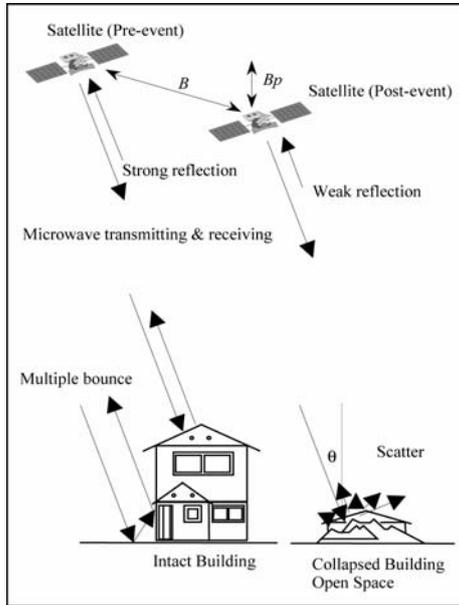
合成開口レーダ (SAR)

合成開口レーダ (SAR) 画像とは,

- 航空機や人工衛星から進行方向に直角に、片側あるいは両側にマイクロ波（波長が約1mm～1mの電磁波）を地表面に向かって照射し、観測対象物より戻ってくる電磁波のはねかりを受信し、その受信信号から得られた画像。
- マイクロ波の地表での反射（後方散乱）成分はマイクロ波の波長、地表付近の物質の形状や物性、表面の状態などによって変化する。



建物被害地域における 後方散乱特性



被害抽出手法のフロー

- 使用するシーン数を増やして(地震前2シーン, 地震後1シーン), 相関係数の変化のみを利用する。
- 市街地以外の地域の被害推定が可能。

- 地震前の2シーン(A, B)と地震後の1シーン(C)について位置合わせ(画像マッチング)を行う。
- 画像のピクセルサイズは3ルック相当にする。
- 3シーンの画像にスペックルノイズ低減フィルタを施す。
- 地震前同士のペア(A - B)から, および, 地震前後のペア(B - C)から画像間の相関係数を計算する(それぞれを, r_{AB} , r_{BC})。
- ピクセル単位で相関係数の差分($r_{dif} = r_{BC} - r_{AB}$)を算出し, 可視化する。
- 地表の変化が安定した地域を対象とするため, r_{AB} の値が小さい地域(相関係数が0.8以下)はマスクする。

相関係数を計算するサイズ:
13 x 13 ピクセル

スペックルノイズ低減フィルタ:
Leeフィルタ

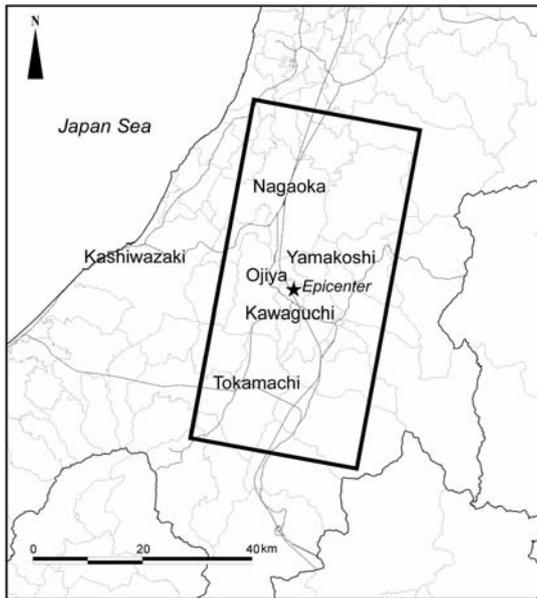
スペックルノイズ低減フィルタのサイズ:
21 x 21 ピクセル

阪神・淡路大震災の経験から, 上記のウィンドウサイズを用いるが, 使用するSAR画像の分解能や地域特性などによって, 本来は最適なものをを用いることが望ましい。

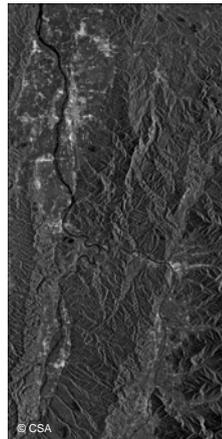
ここでは, 手法の汎用性や自動化を考慮して, 分解能にかかわらずこのサイズを用いる。

2004年10月23日新潟県中越地震

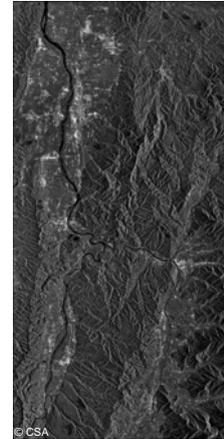
Radarsat/Fine, 分解能:9m. 2004/9/7, 2004/10/1, 2004/10/25の3シーンを利用



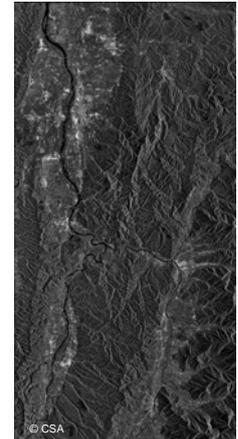
対象地域



地震前
2004/9/7

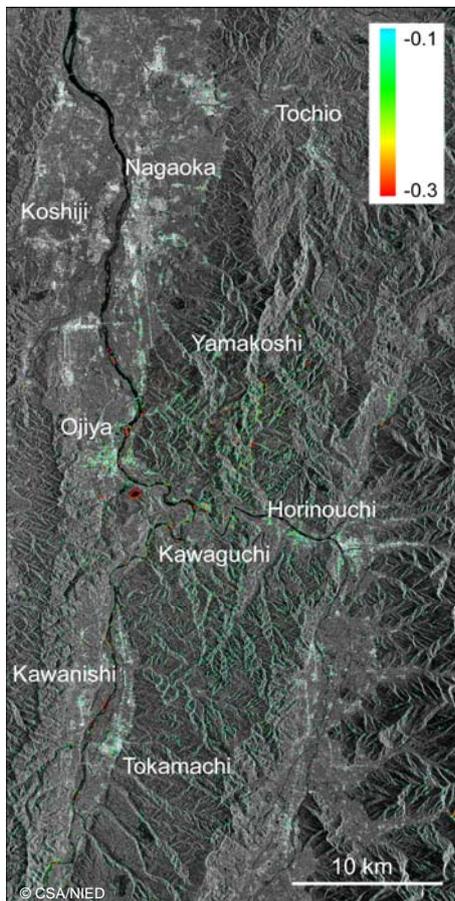


地震前
2004/10/1



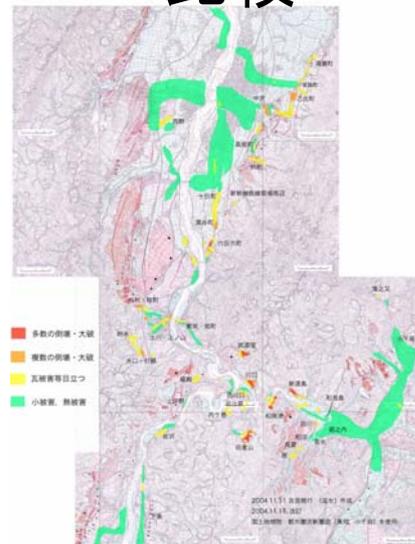
地震後
2004/10/25

SARは天候の影響をほとんど受けないため、地震前の良好な画像が存在する可能性が高い。



r_{dif} の分布

相関係数差分 r_{dif} による被害抽出と現地調査結果との比較

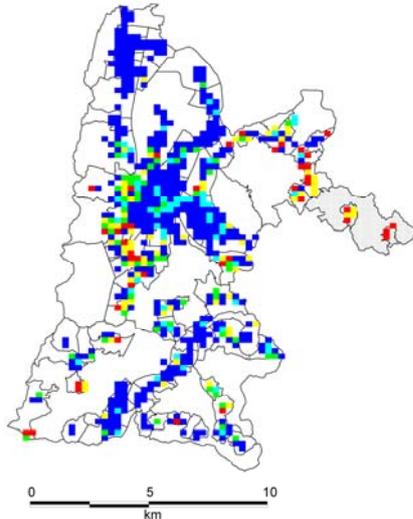


現地調査結果
(吉見ほか, 2004)

河川の中州や調整池などでの誤抽出があるが、それらを除けば実際の被害状況との対応は良い

相関係数の差分 r_{dif} と建物全壊率との関係

Severe Damage Ratio (%)

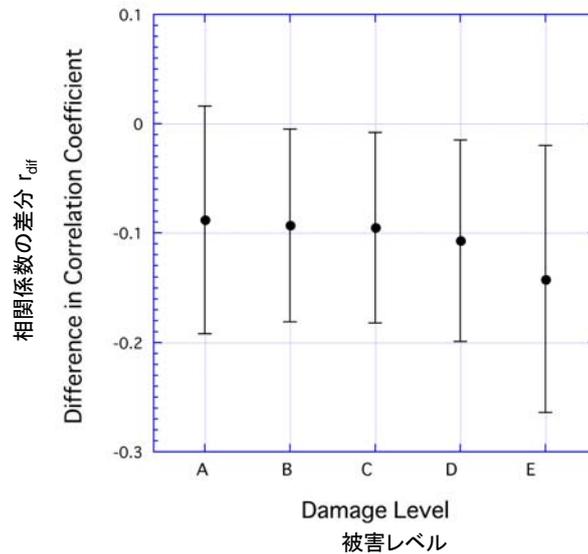


小千谷市における建物被害調査
GISデータ
(堀江, 2005)

r_{dif} の分布を小千谷市の被害調査データに重ね合わせ、被害レベルごとにピクセルを抽出し、平均値と標準偏差を算出。

被害レベルを建物全壊率で区分し、全壊率が0-6.25, 6.25-12.5, 12.5-25, 25-50, 50-75%を、それぞれ被害レベルA, B, C, D, Eとする。

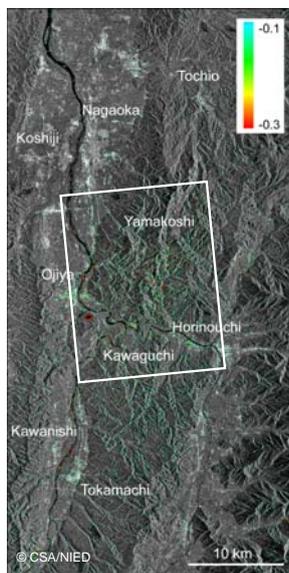
標準偏差が大きく、ばらつきはあるが、被害レベルが大きくなるに従い、 r_{dif} の値は小さくなる。



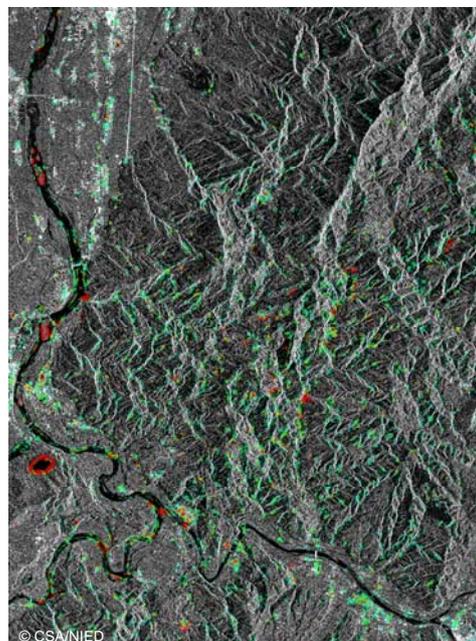
被害抽出と現地調査結果との比較(斜面災害)

大規模な斜面崩壊・地すべり被害の自動抽出が概ね可能であるが、マイクロ波の照射方向と発生地点の関係により把握が困難なものもある。

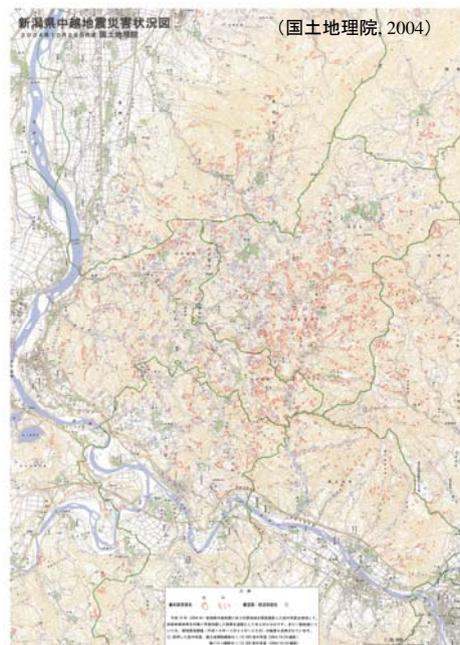
また、抽出結果を地図に投影するためには、SAR画像特有の幾何歪み(レイオーバー、フォアショートニング、シャドウイング)を考慮した補正が必要になる。



r_{dif} の分布



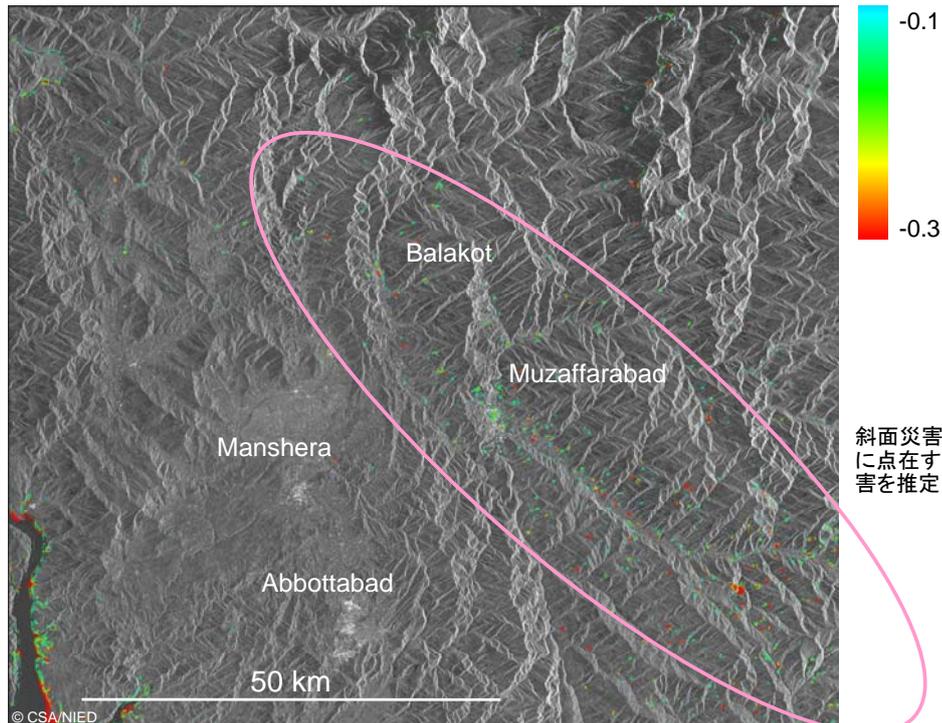
旧山古志村付近を拡大



実際の斜面災害分布

2005年10月8日パキスタン北部地震

Radarsat/Standard (30m分解能), 2001/7/11, 2005/6/20, 2005/10/18の3シーンを利用



湖沿岸の変化を被害として誤推定

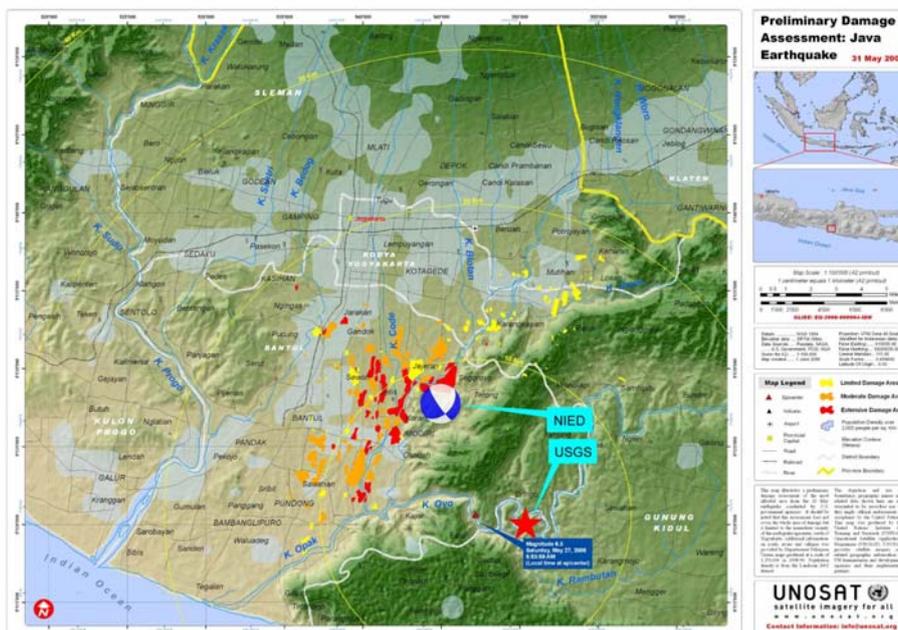
斜面災害や山岳斜面に点在する集落の被害を推定

r_{dif} の分布



インドネシア・ジャワ島中部地震

- 2006年5月27日午前5時54分発生
- Mw 6.3 (NIED)
- 死者: 5,700人以上, 負傷者: 36,000人以上

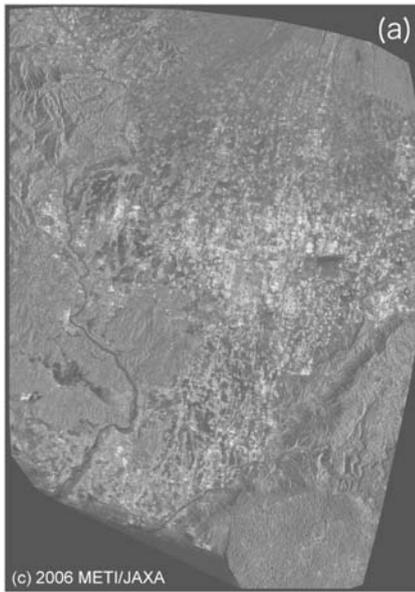


http://www.isn.bosai.go.jp/events/YogyaEq_20060526/index3.html



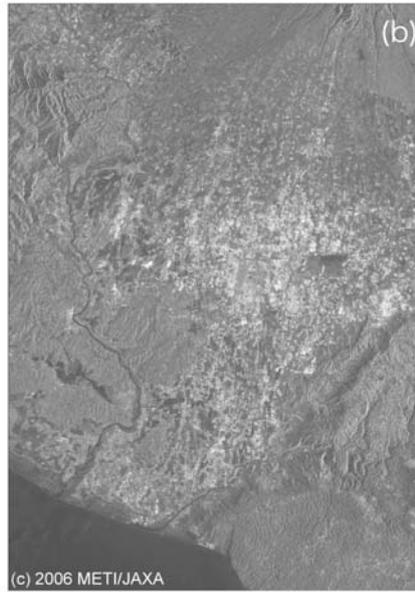
ALOS/PALSARデータへの応用

範囲: 東西38km x 南北53km, ピクセルサイズ: 約10m



2006/4/29

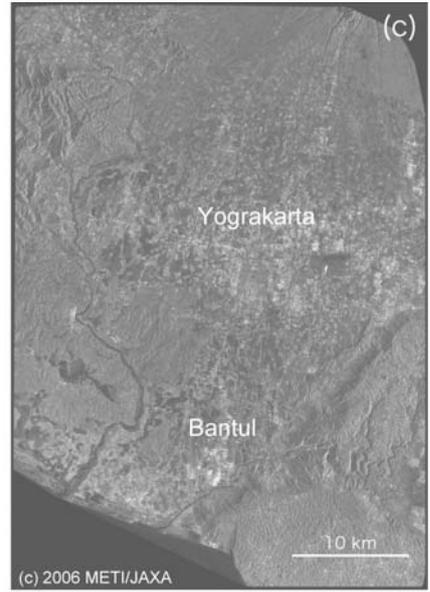
34.5°



2006/5/16

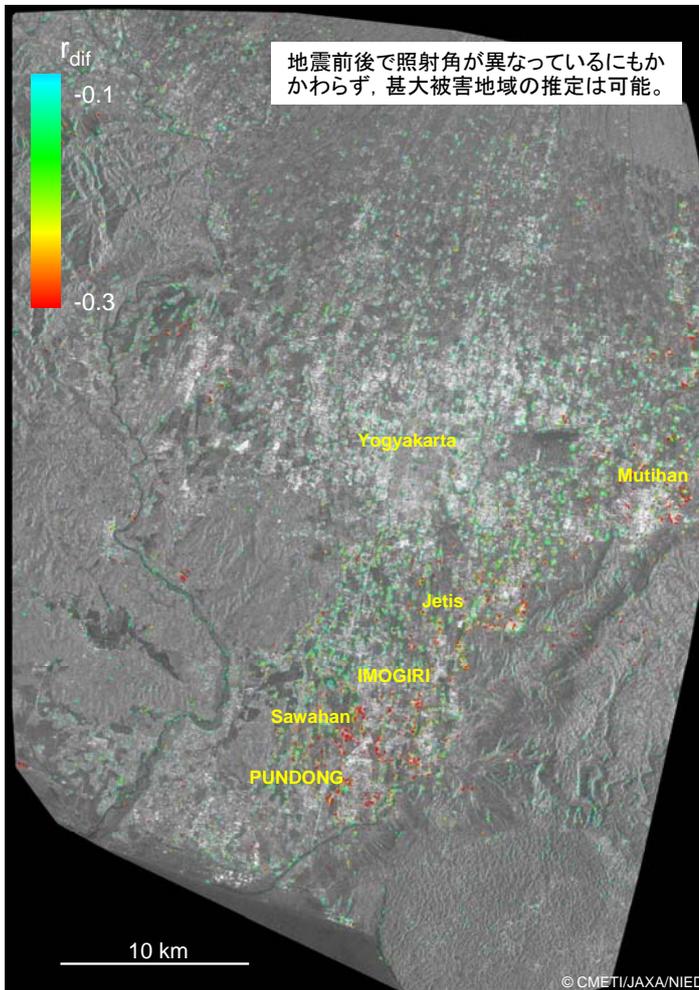
30.8°

マイクロ波の照射角



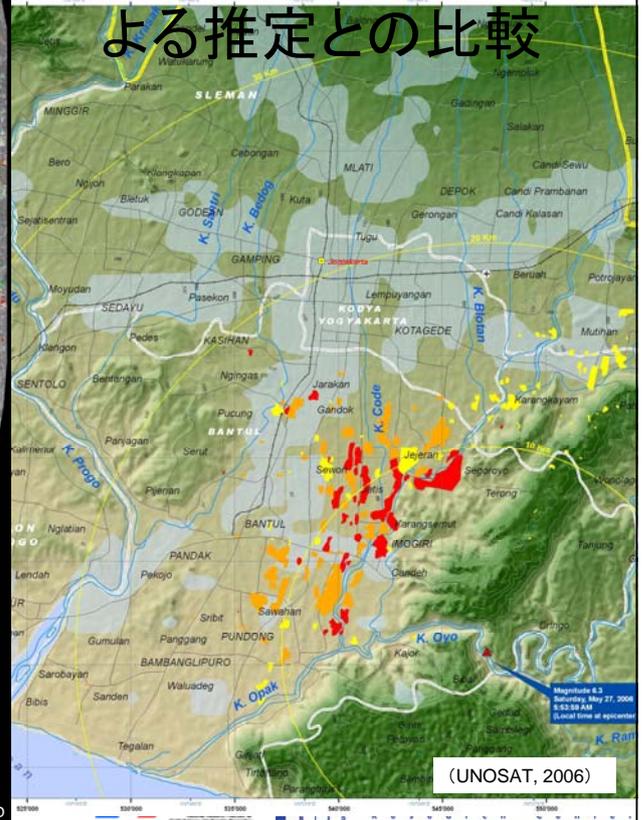
2006/5/28

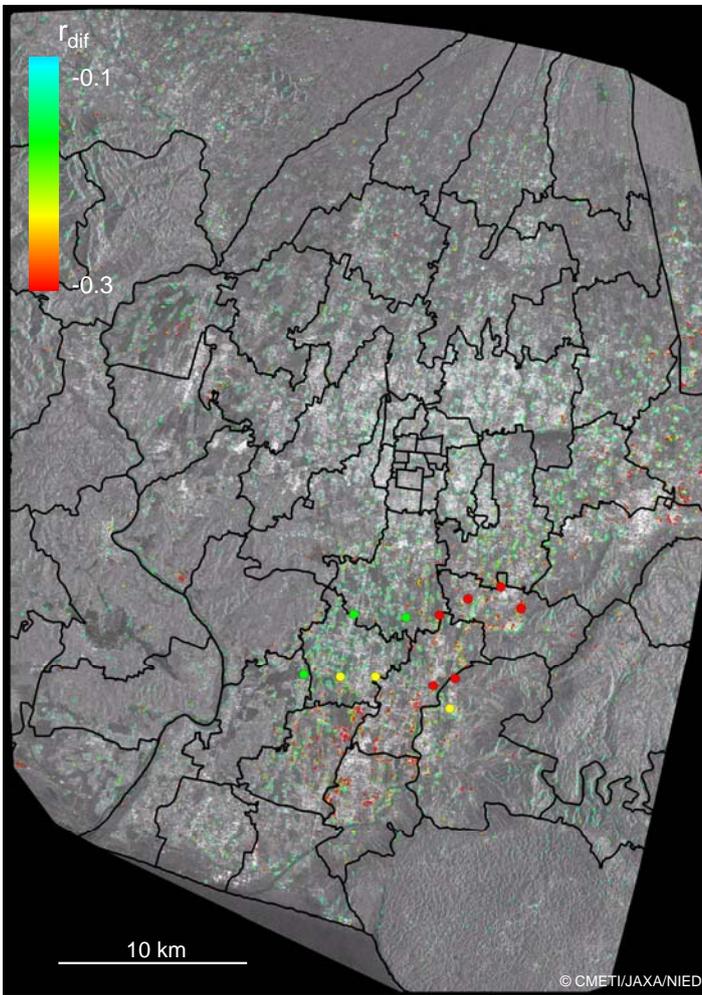
36.9°



地震前後で照射角が異なっているにもかかわらず、甚大被害地域の推定は可能。

相関係数差分 r_{dif} による被害抽出とUNOSATによる推定との比較





相関係数差分 r_{dif} による 被害抽出と現地調査結 果との比較

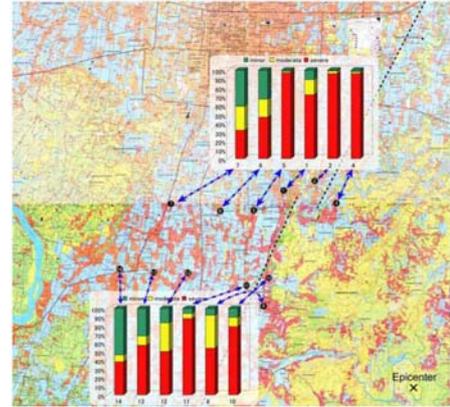


Figure 3.4-8 断層線（黒点線）直交方向に並べた調査地域の被害率

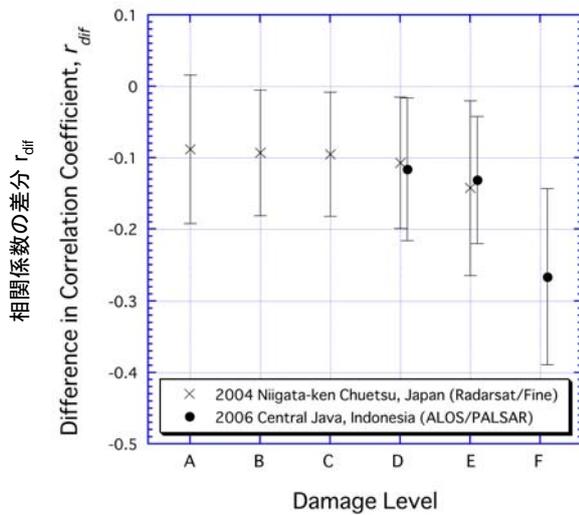
建築被害調査チームによる一般家屋の
被害調査結果
(前田ほか, 2006)

全壊率
Severe Damage Ratio (%)
(Maeda et al. 2006)

- 75 - 100
- 50 - 75
- 25 - 50



相関係数の差分 r_{dif} と建物全壊率との関係



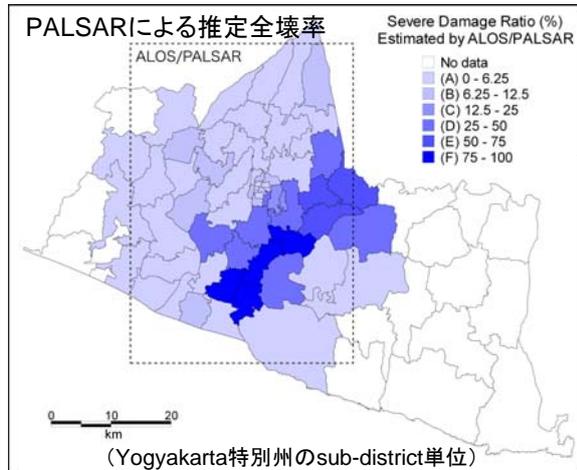
- 建築被害調査チームによる被害調査結果について、3段階の被害レベルに区分(D: 全壊率25-50%, E: 50-75%, F: 75-100%)
- 地点の半径250mの範囲について、ピクセルを抽出し、相関係数差分の平均値と標準偏差を算出
- バラツキはあるものの、被害レベルが大きくなると相関係数の差分は小さくなる
- 被害レベル(A: 0-6.25%, B: 6.25-12.5%, C: 12.5-25%)も含め、新潟県中越地震での小千谷市での結果も布置
- 新潟県中越地震での結果とも矛盾しない

Damage Level	Severe Damage Ratio (%)	Difference in Correlation Coefficient, r_{dif}
A	0 — 6.25	— (-0.08)
B	6.25 — 12.5	(-0.08) — (-0.09)
C	12.5 — 25	(-0.09) — (-0.10)
D	25 — 50	(-0.10) — (-0.13)
E	50 — 75	(-0.13) — (-0.19)
F	75 — 100	(-0.19) —

全壊率推定のための、レベルスライスの閾値を決定

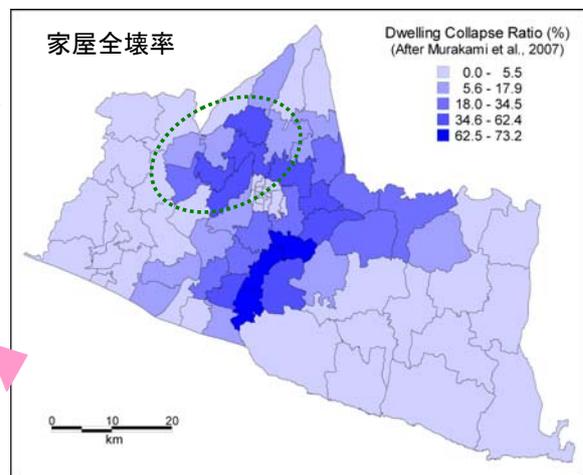


PALSAR画像からの全壊率分布の推定と被害統計との比較

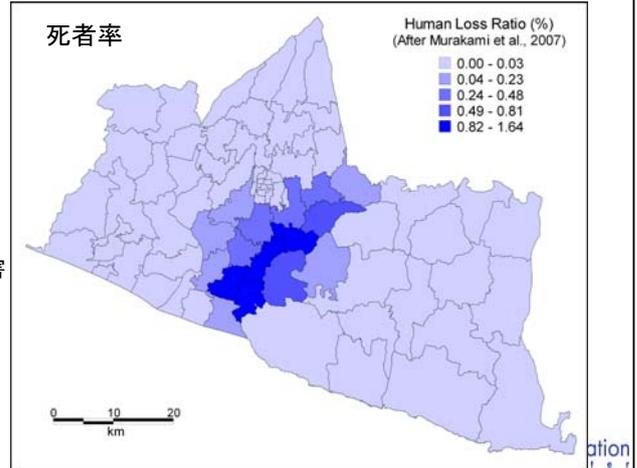


- sub-district単位で相関係数差分の平均値を算出し、全壊率に変換
- PALSARからの推定は、全壊率がとくに高い地域の分布について被害統計データとも整合する
- 死者率の分布との対応も良い

(Yogyakarta市の北部から西部にかけての全壊率が高い地域(緑点線の範囲)では、現地調査ではとくに顕著な被害の報告がないので、この地区のデータの信頼性や精度については、調査が必要)



(Gajah Mada大学による集計)



まとめ

- SAR画像を利用した被害抽出手法は、ジャワ島中部地震を観測したALOS/PALSARにも適用可能であることがわかり、地震前後においてマイクロ波の照射角が異なるものの、推定された被害地域の分布はUNOSATの推定結果とも概ね対応する。しかし、照射角の違いは無被害地域であっても後方散乱特性に影響を与えている可能性がある。また、高い精度での画像マッチングが困難であり、これらが被害推定に及ぼす影響を無視できない。
- 被害推定の妥当性の検証のために、現地調査による被害状況と比較したところ、実際の被害レベル(一般家屋の全壊率)と被害推定域(相関係数の低下域)とは良く対応し、被害レベルが大きくなるほど、相関係数差分は小さくなることを確認した。
- この傾向は新潟県中越地震での前後に観測されたRadarsatデータによる小千谷市での結果とも整合し、相関係数差分から家屋全壊率が近似的に推定できることを示した。
- ALOS/PALSAR画像による解析結果をsub-district単位で集計して、推定した家屋全壊率の分布は、現地の被害統計データによる被害分布とも概ね良い対応を示した。

課題

- 観測時期, マイクロ波の波長, 偏波特性, 照射方向, 照射角, 地上分解能などの観測条件が被害推定に及ぼす影響や誤推定の原因を検討する必要がある.
- 災害対応への利用(実用化)のためには, 観測データの即時入手と推定結果の早期公開のシステムが必要である. そのためには, 宇宙機関との連携, 大容量データの流通のための高速ネットワークの利用, 被害推定手法の完全自動化とGISとの統合などの課題がある.
- より高精度な被害推定のためには, 光学センサ画像による被害判読との統合が考えられる.

謝辞: ALOS/PALSARデータを提供して下さった宇宙航空研究開発機構(JAXA)に謝意を表します.

SAR画像の仕様

	ALOS/PALSAR	Radarsat
中心周波数	1.27 GHz (Lバンド)	5.3 GHz (Cバンド)
波長	23.5 cm	5.7 cm
偏波	HH	HH
地上分解能	10 m	9m(Fine), 30m(Standard)

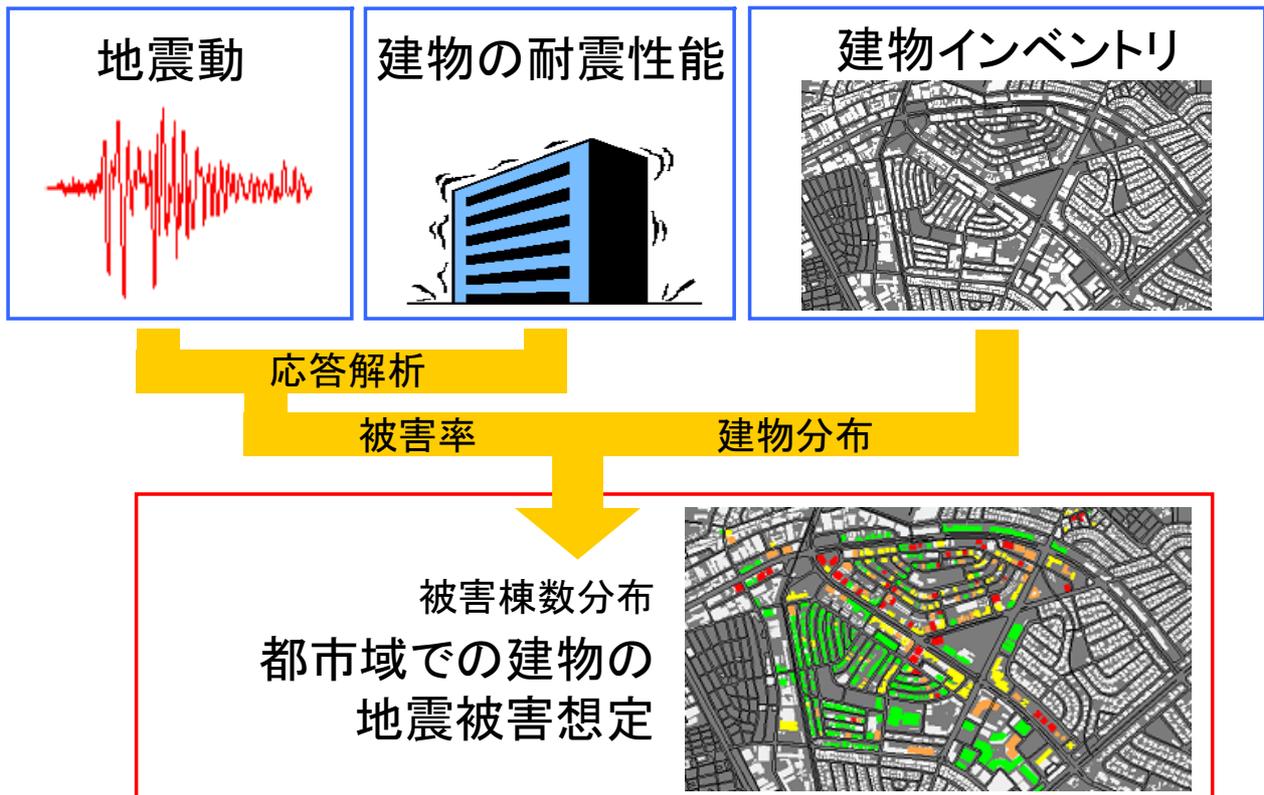
リモートセンシング技術による 建物インベントリと地震被害想定

東京工業大学 都市地震工学センター

三浦弘之

地震工学会リモセン研究委員会 2007/3/2

地震被害想定の流れ

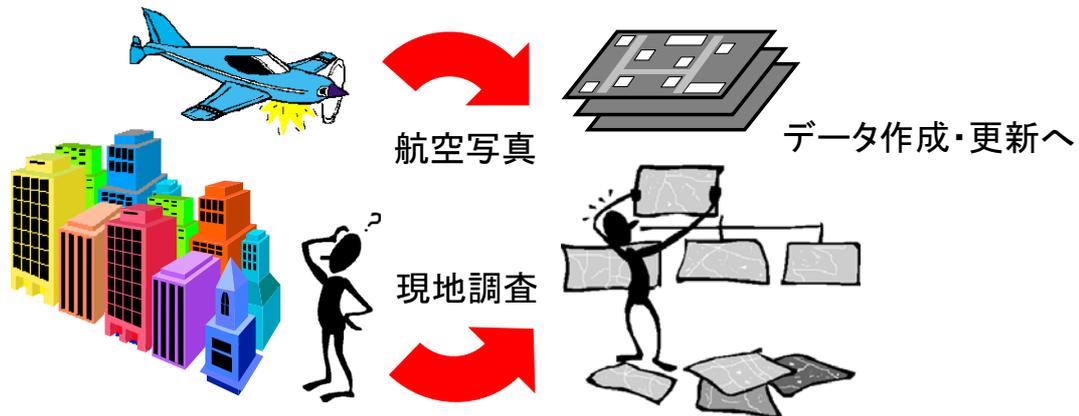


建物GISデータ(インベントリ)について

- 建物分布の把握には、最新の建物GISデータが必要
- データの作成・更新には、多大な経費や労力がかかる

GISデータの作成費用= f (面積, 取得項目, 精度)

いわき市の場合: GISデータ構築に12億円



建物GISデータの更新に関する問題

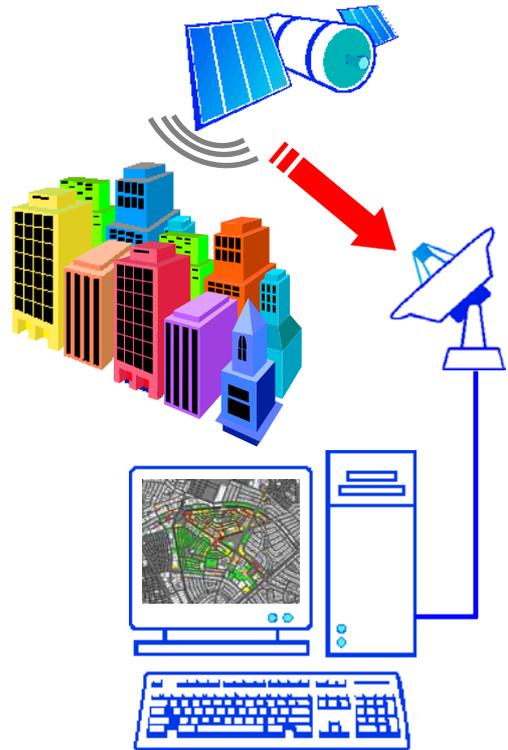
- GISデータの更新には作成と同程度の費用がかかる
- 日本の政令指定都市で、5年に1度程度の更新頻度
- 途上国での地震被害予測を考えると、一旦GISデータは作成されても更新されない場合が多い
 - ・都市圏における急速な市街地の成長
 - ・定期的にデータを更新するシステムは未確立



定期的かつ安価に建物GISデータを更新する方法を検討する必要がある

リモートセンシングデータの利用

- 近年では、高分解能リモートセンシングデータが入手可能
- 1m程度の地表分解能で、個々の建物を判別可能
- 衛星からの観測のため、定期的に広域データを入手可能
- 価格は航空写真の1/2～1/3程度



高分解能衛星画像について

- ・従来の衛星画像に比べ数十倍の分解能を有する
- ・都市域での個々の建物を判読可能

IKONOS画像の特徴

地表分解能: 1m
観測波長: 可視域3+近赤外域1
観測幅: 11km
回帰日数: 11日

従来の衛星画像: 分解能30m



IKONOS画像: 分解能1m



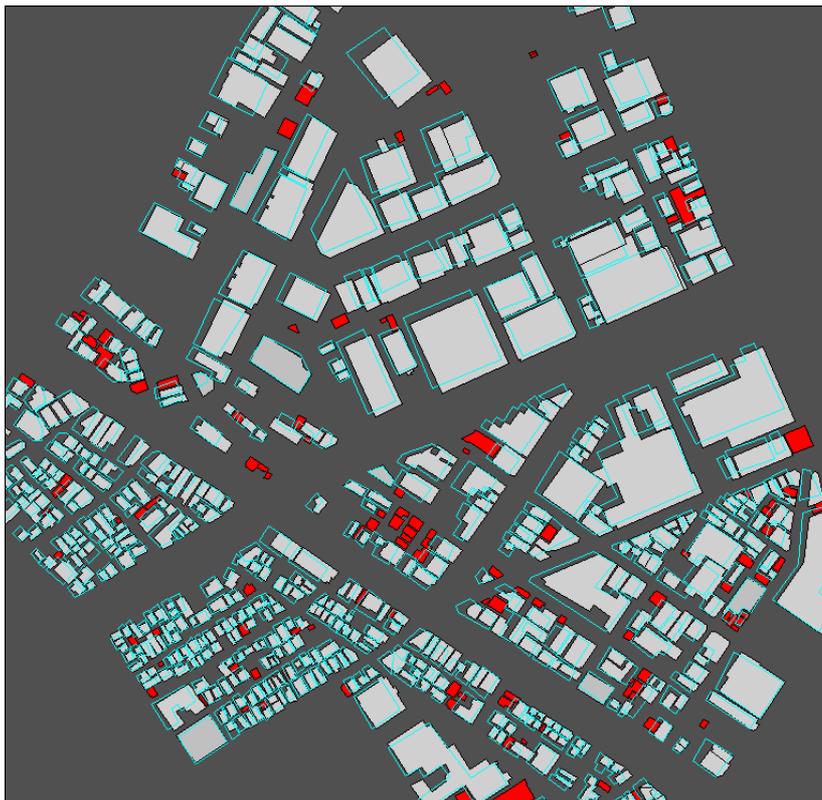
IKONOS画像を用いた建物の目視判読



横浜市市街地

□ : 判読結果

判読結果とGISデータの比較



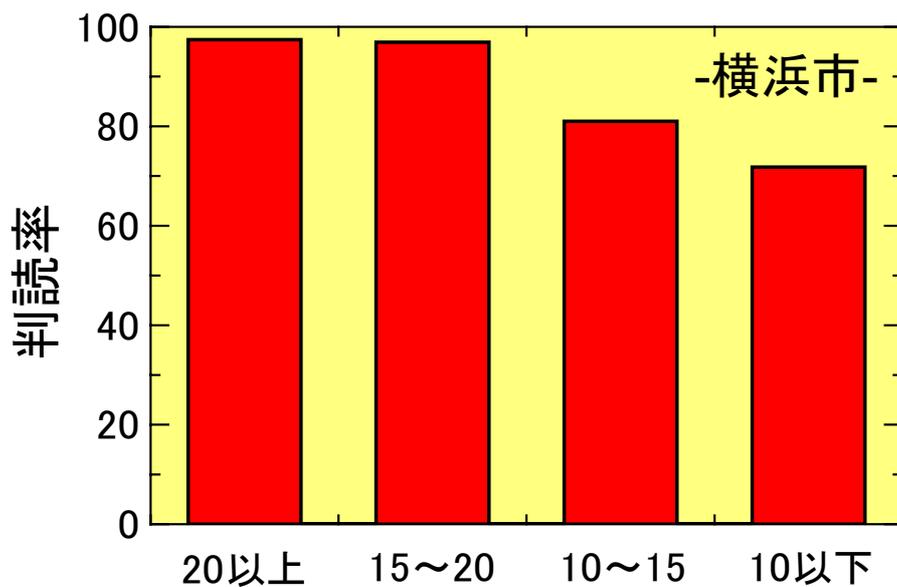
□ : 判読結果

— GISデータ —

■ : 判読成功

■ : 判読失敗

判読結果と建物規模の関係



判読率(%)=	建物の長辺長さ(m)				計
画像から判読した建物数	113	95	166	227	601
GISデータの建物数	116	98	205	316	735

衛星画像とGISデータの比較



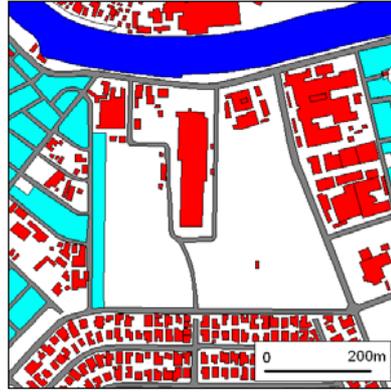
衛星画像にはGISデータにない建物が撮影される

衛星画像とGISデータの差分による建物検出

2001年IKONOS画像



1989年GISデータ

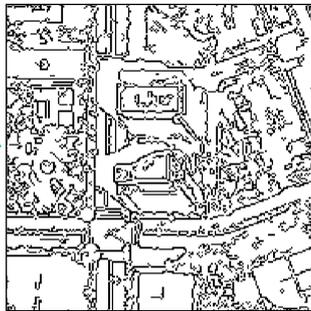


■: 建物データ
■: 建物密集地域

原画像



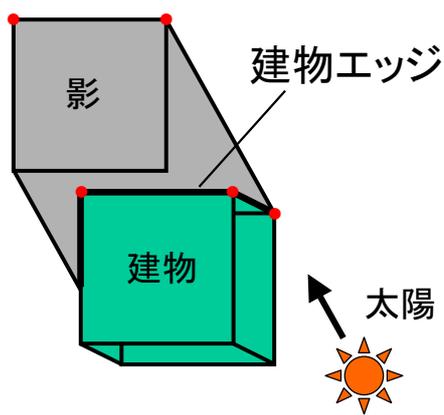
エッジ画像



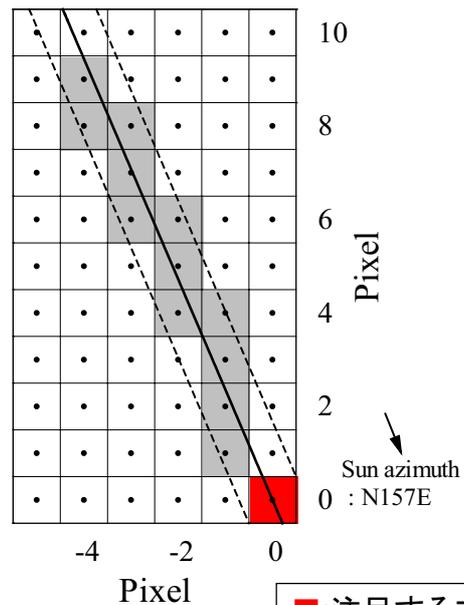
検出結果



建物エッジの判別



建物エッジは常に自身の影と隣接



■: 注目するエッジ
■: 影画素

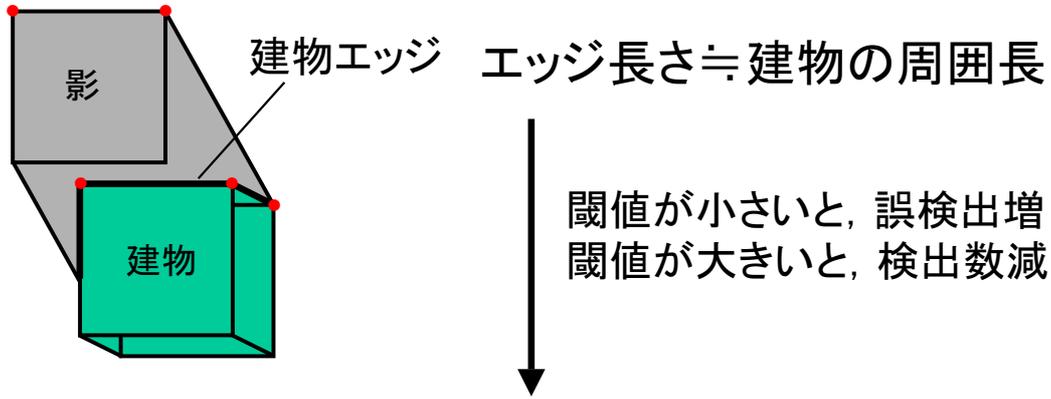
判別条件

- ① 影画素と隣接する

建物エッジの判別

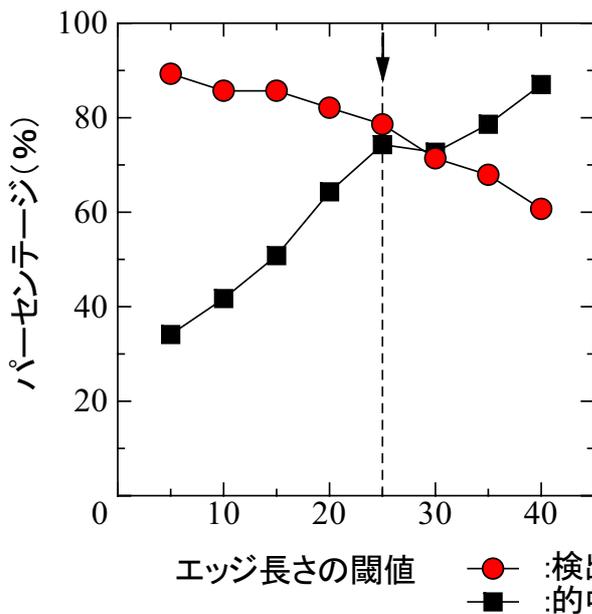
判別条件

② 閾値以上の長さを有する



適切な閾値を検討する必要

エッジ長さの閾値と検出率・的中率の関係



実際のIKONOS画像での検討

$$\text{検出率} = \frac{\text{検出成功数}}{\text{全対象建物数}}$$

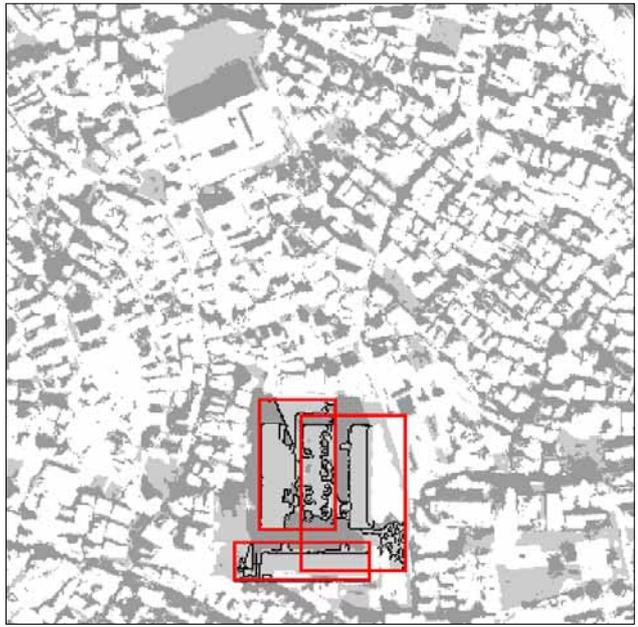
$$\text{的中率} = \frac{\text{検出成功数}}{\text{抽出された領域数}}$$

ともに高いときの
閾値が最適

判別条件

② 閾値25m以上の長さを有する

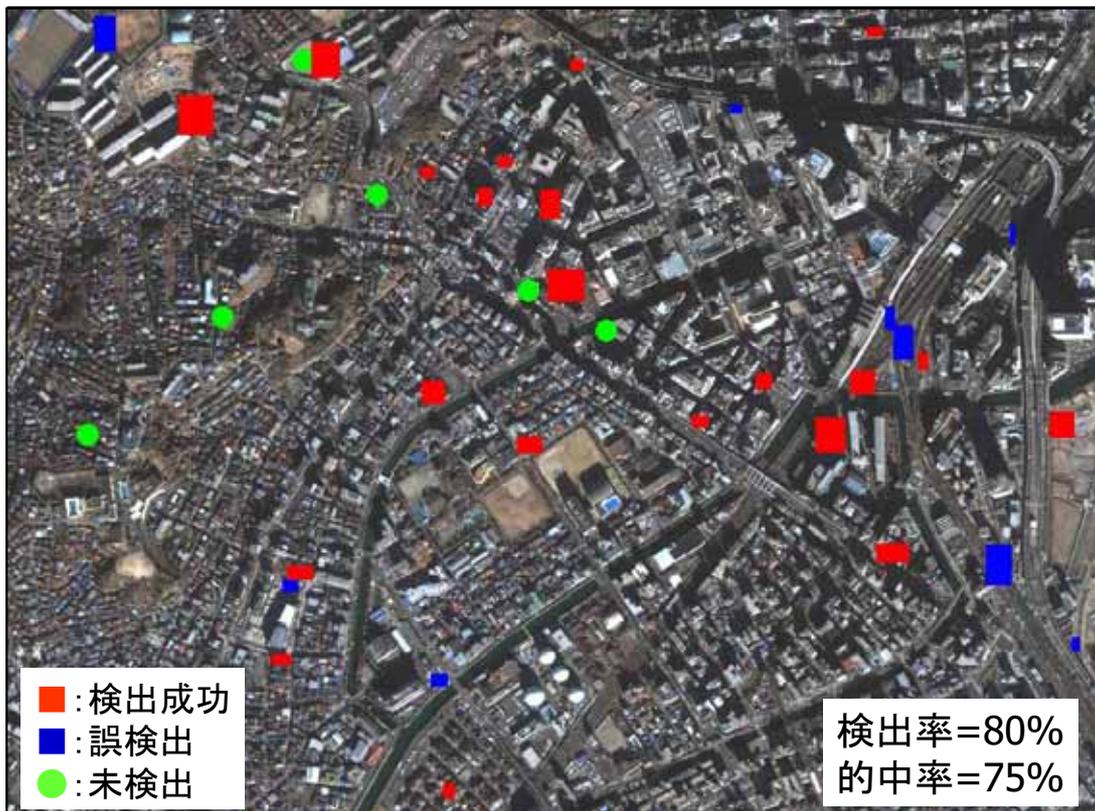
新築建物の検出結果



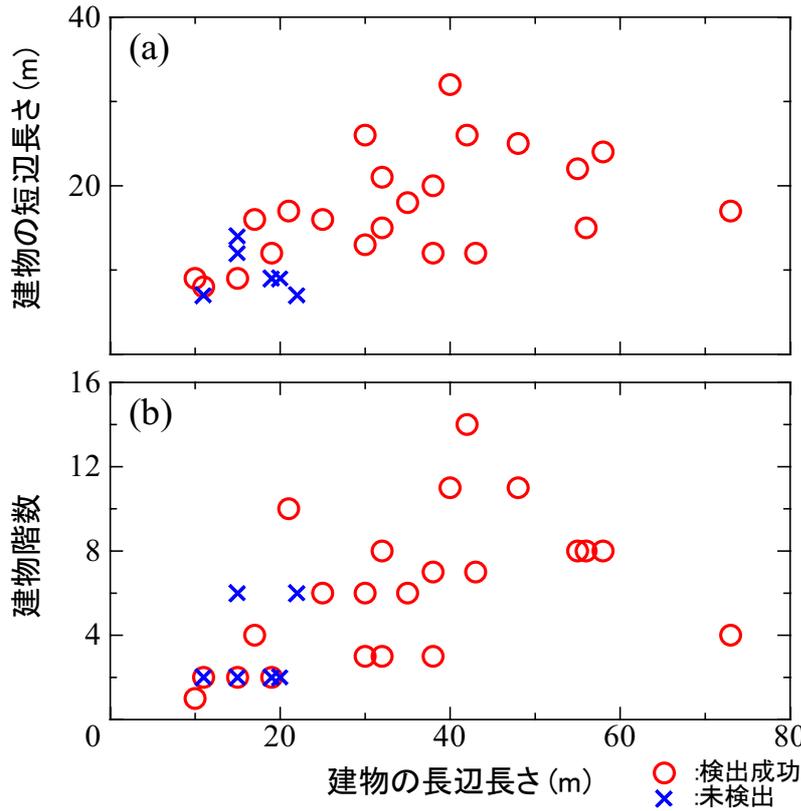
—：抽出したエッジ， —：その領域

新築建物のおおまかな位置を検出することができた

本手法の適用性の検討



検出結果と建物規模との関係



対象建物=28棟
検出成功=22棟

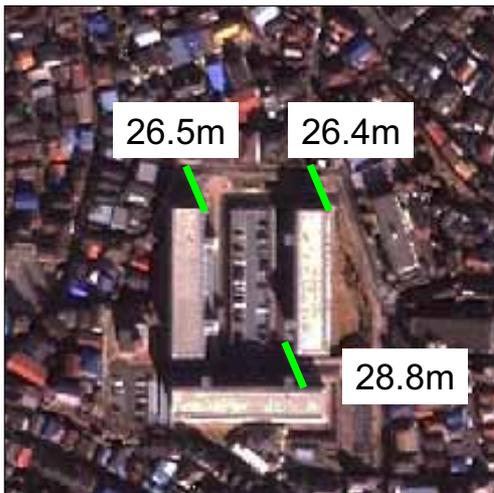
辺長さ $\geq 25\text{m}$

検出率 = $16/16$
= 100%

辺長さ $< 25\text{m}$

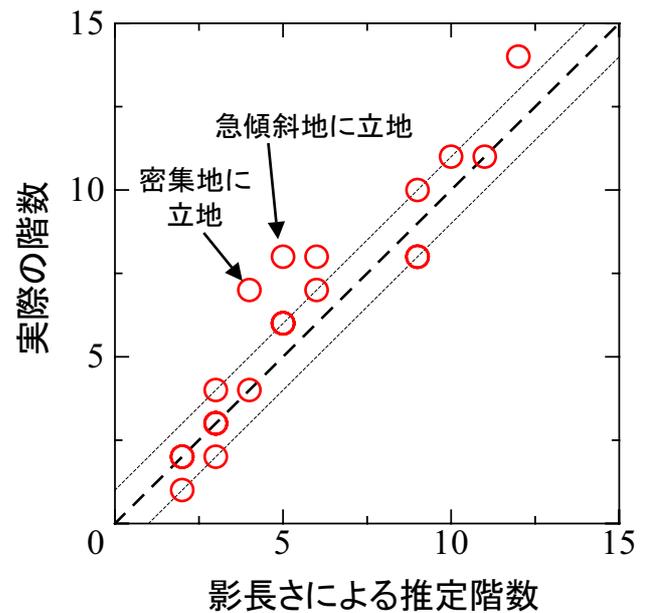
検出率 = $6/12$
= 50%

建物の影長さによる階数の推定



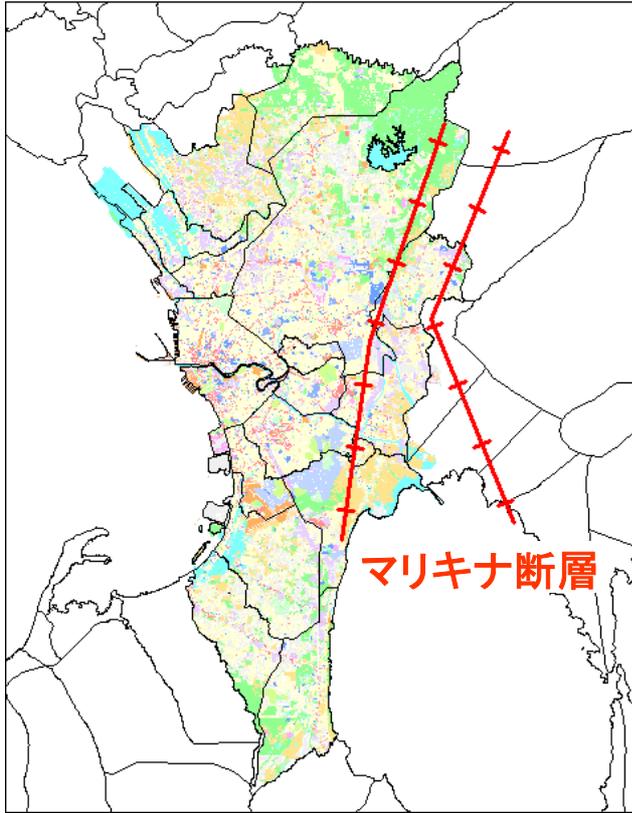
$$S = \frac{L}{\tan \theta \times H_A}$$

S: 階数, L: 影長さ
 θ : 太陽高度, H_A : 平均階高 (=3.2m)



ほとんどの建物で ± 1 階程度の精度で推定可能

マニラ首都圏への適用



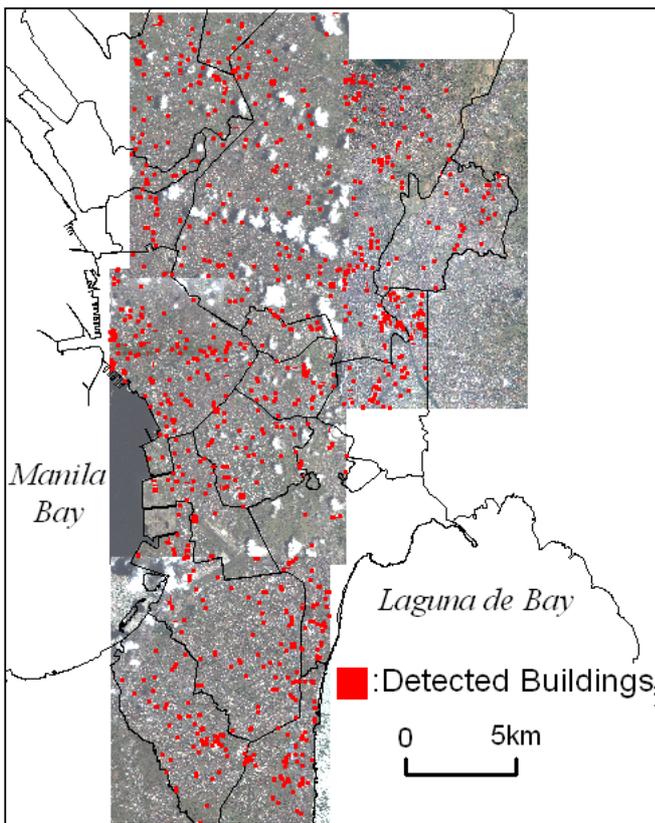
地震危険度が高く、GISデータを更新するシステムが未確立

マニラ首都圏を対象

JICA *et al.*(2003)による被害予測
<問題点>

- ・マニラ首都圏固有の建物の耐震性能を考慮せず
- ・低層建物のみ被害予測

広域画像における検出結果

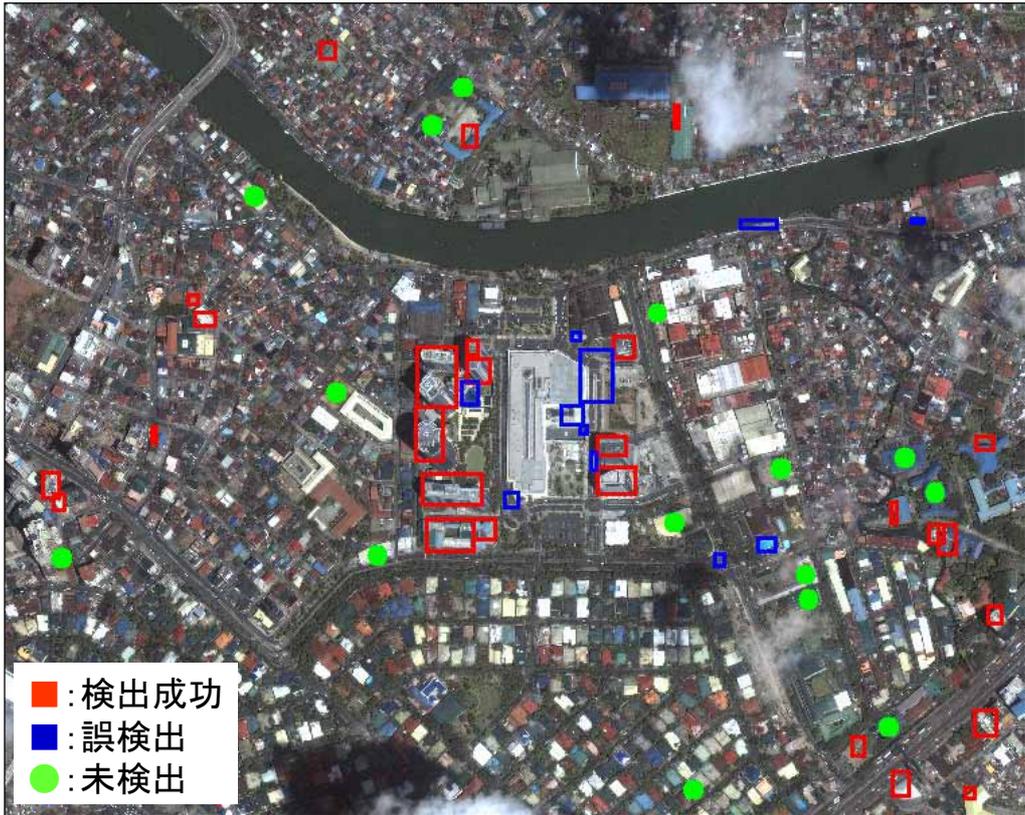


- ・マニラ首都圏の75%をカバー
- ・影長さから階数を推定

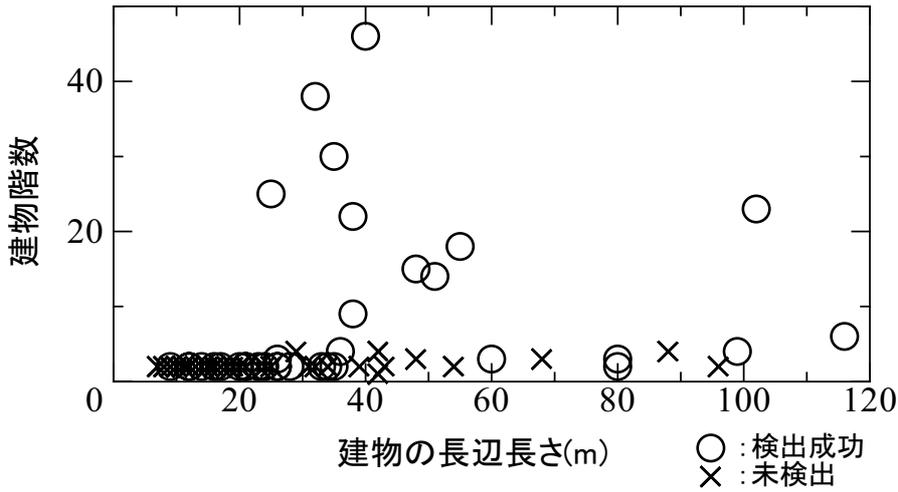
階数	検出数	未検出	検出率
4-7	636	73	90%
8-15	167	7	96%
16-25	54	1	98%
26-35	25	0	100%
36-	10	0	100%

中高層建物について
90%以上の割合で
検出成功

新築建物の自動検出手法の適用結果



検出結果と建物規模の関係



辺長さ	階数	検出成功数	未検出数	検出率
25m以上	1-2階	7	40	20%
	3階以上	25	8	80%

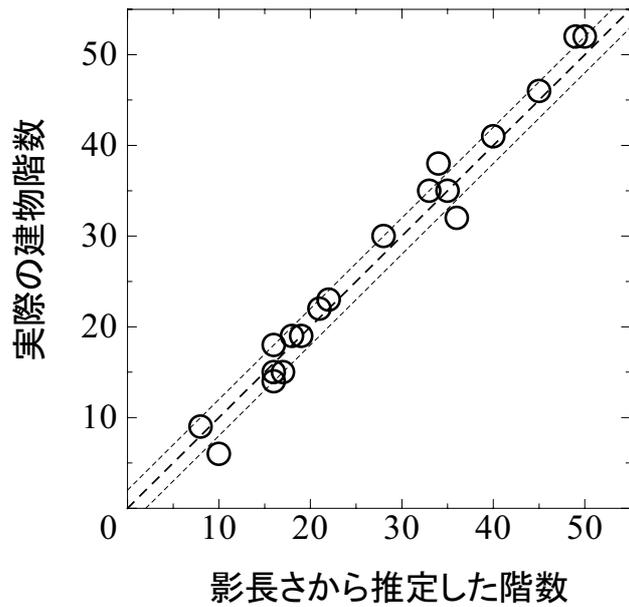
中層以上の建物に対して有効であった

建物の影長さによる階数の推定



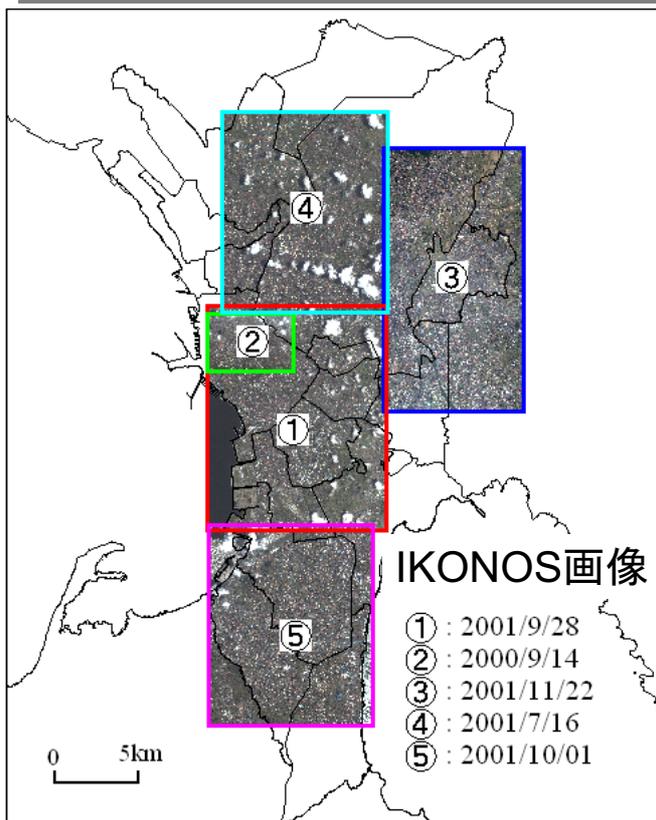
$$S = \frac{L}{\tan \theta \times H_A}$$

S: 階数, L: 影長さ
 θ: 太陽高度, H_A: 平均階高(=3.2m)



高層建物でも±2階程度の精度で階数を推定できた

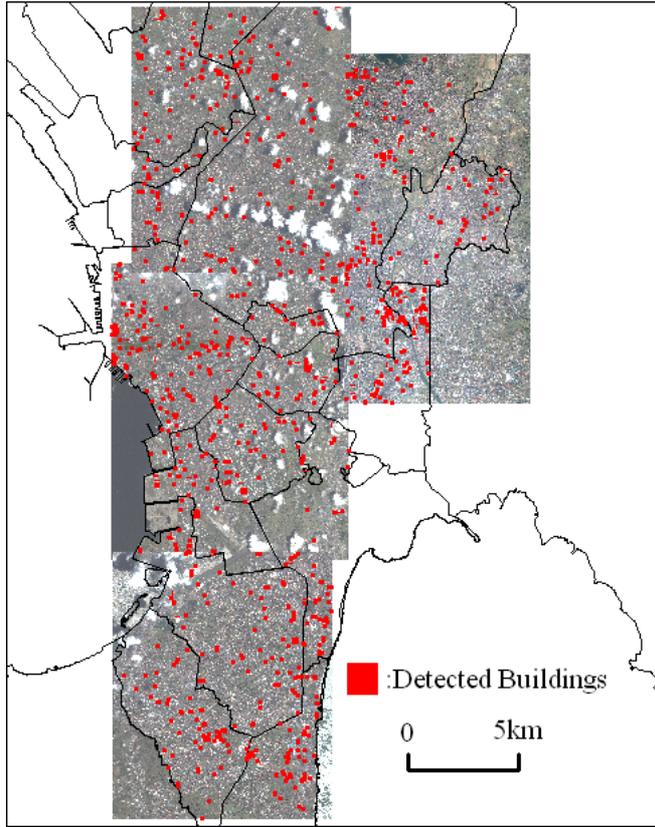
IKONOS画像を用いた建物インベントリの更新



新築建物の検出手法を
 広域のIKONOS画像に
 適用し、建物インベントリ
 を更新する

建物高さは影長さから
 推定する

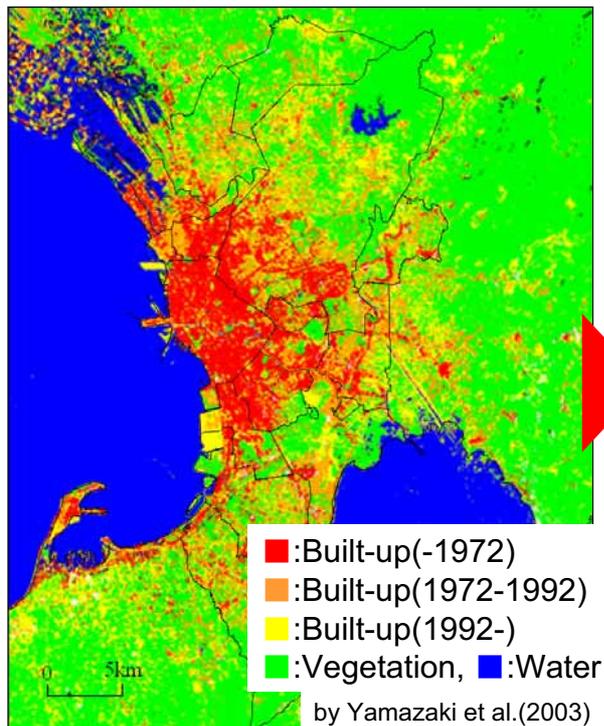
広域での建物検出結果



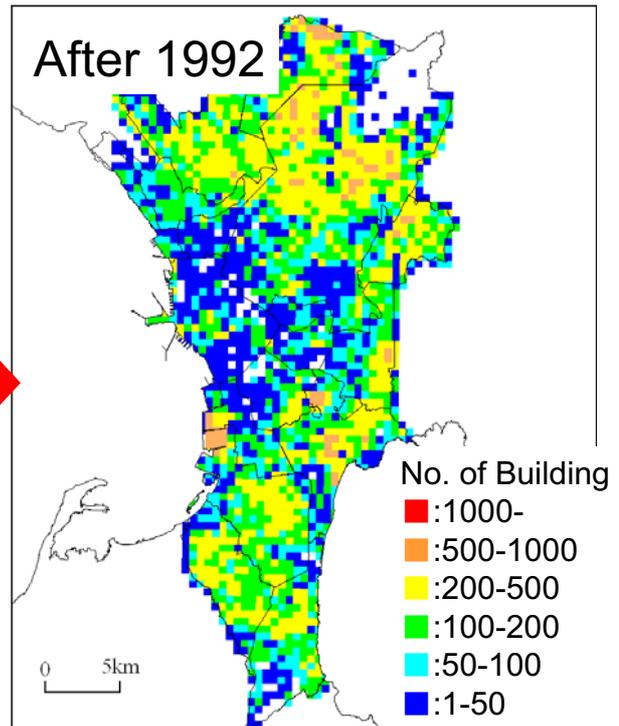
Stories	Detected	Ratio
1-3F	1,751	—
4-7F	636	85%
8-15F	167	90%
16-25F	54	98%
26-35F	25	100%
36F -	10	100%

中高層建物のほとんどを検出することができた

低層建物分布の推定



時系列Landsat画像による市街地分布の変遷



推定した低層建物数の分布

建物インベントリの更新 -低層・中層建物-

更新前

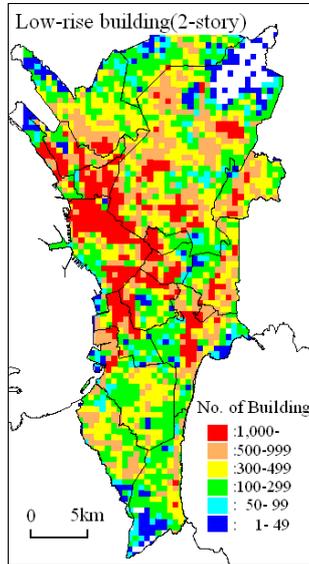
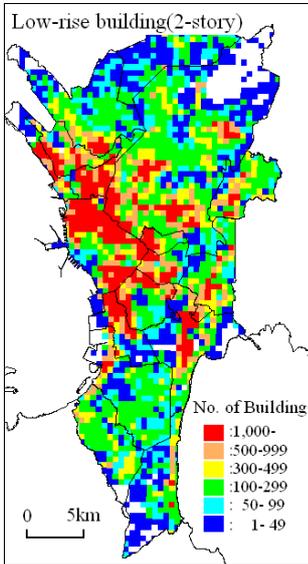


更新後

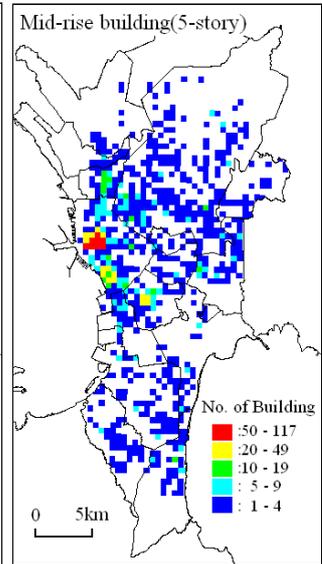
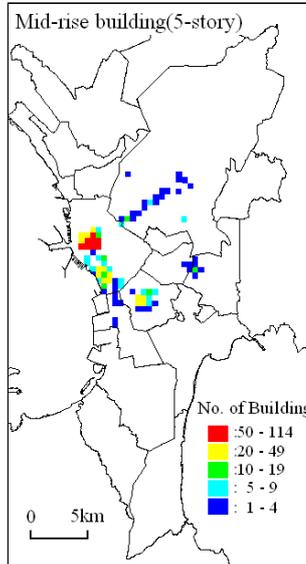
更新前



更新後



低層建物 (1-3階)



中層建物 (4-7階)

建物インベントリの更新 -高層建物-

更新前

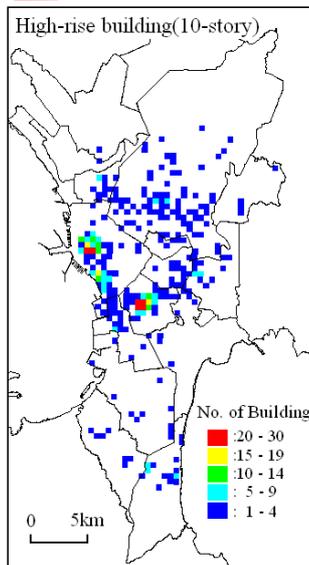
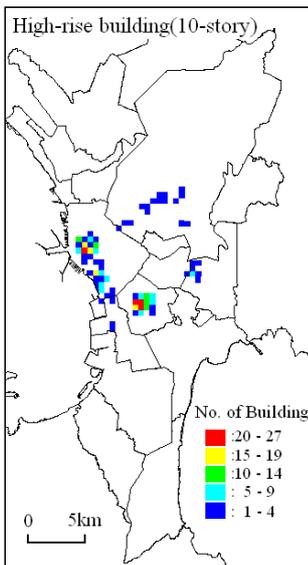


更新後

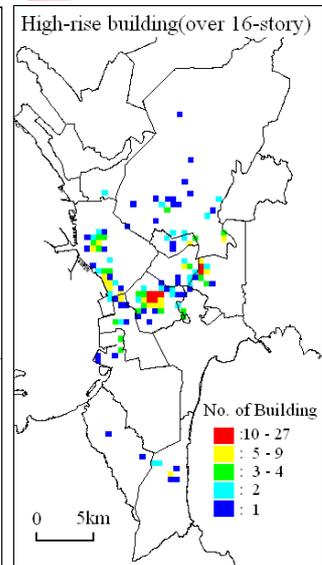
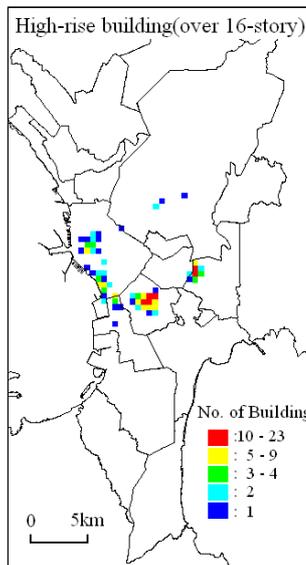
更新前



更新後



高層建物 (8-15階)

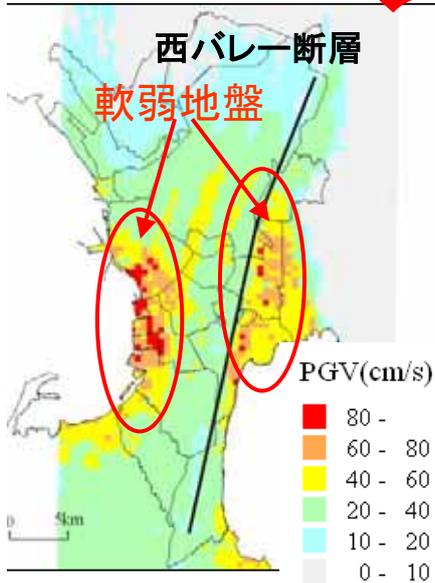


高層建物 (16階以上)

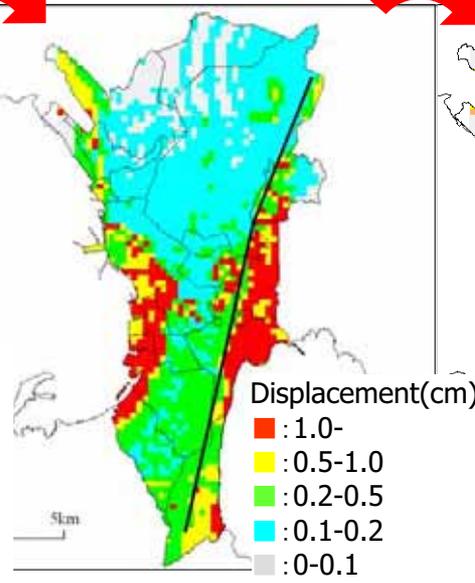
建物被害予測の流れ

Capacity Spectral Method

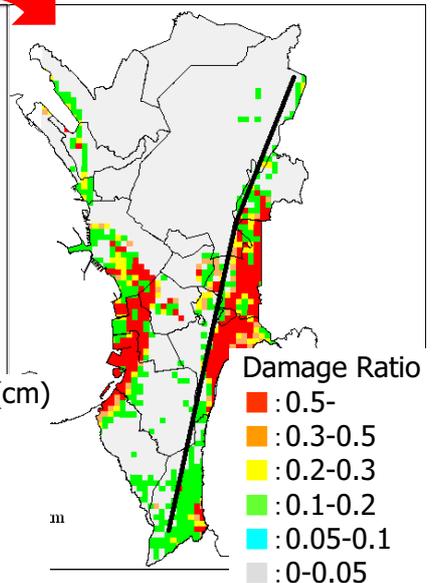
Fragility Curve



最大地動速度

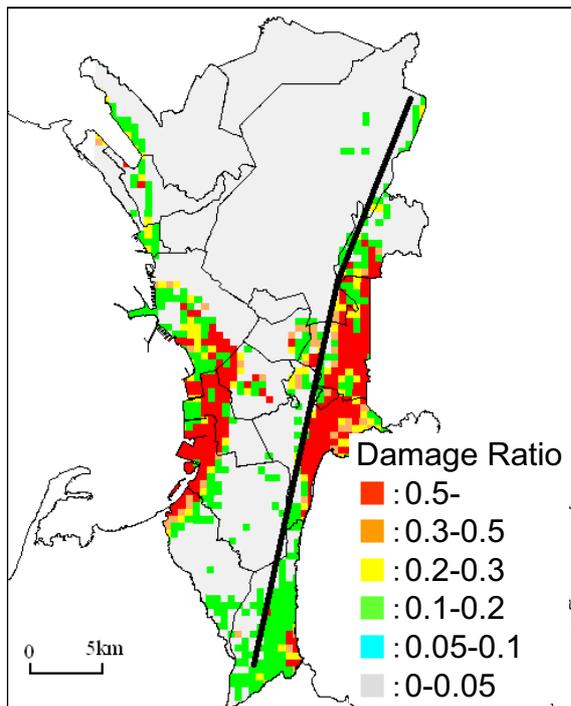


各建物タイプごとの最大応答



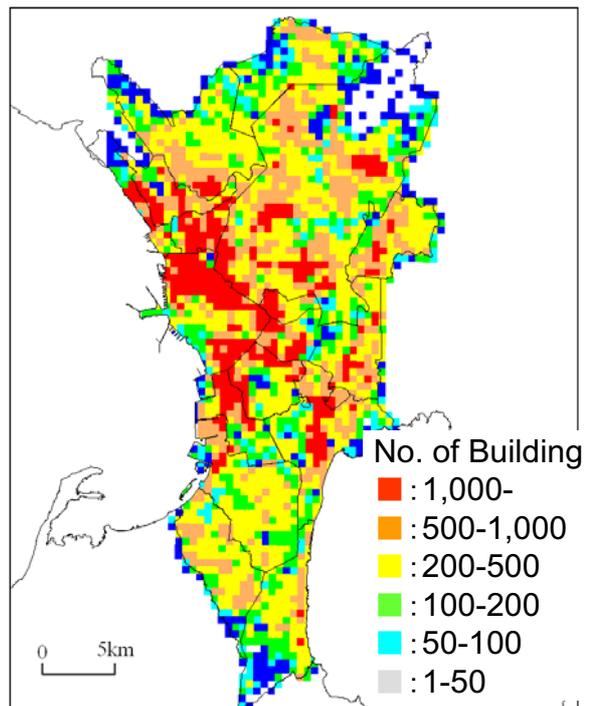
最大応答に対する被害率
(倒壊・大破・中破・小破)

被害率分布と建物分布



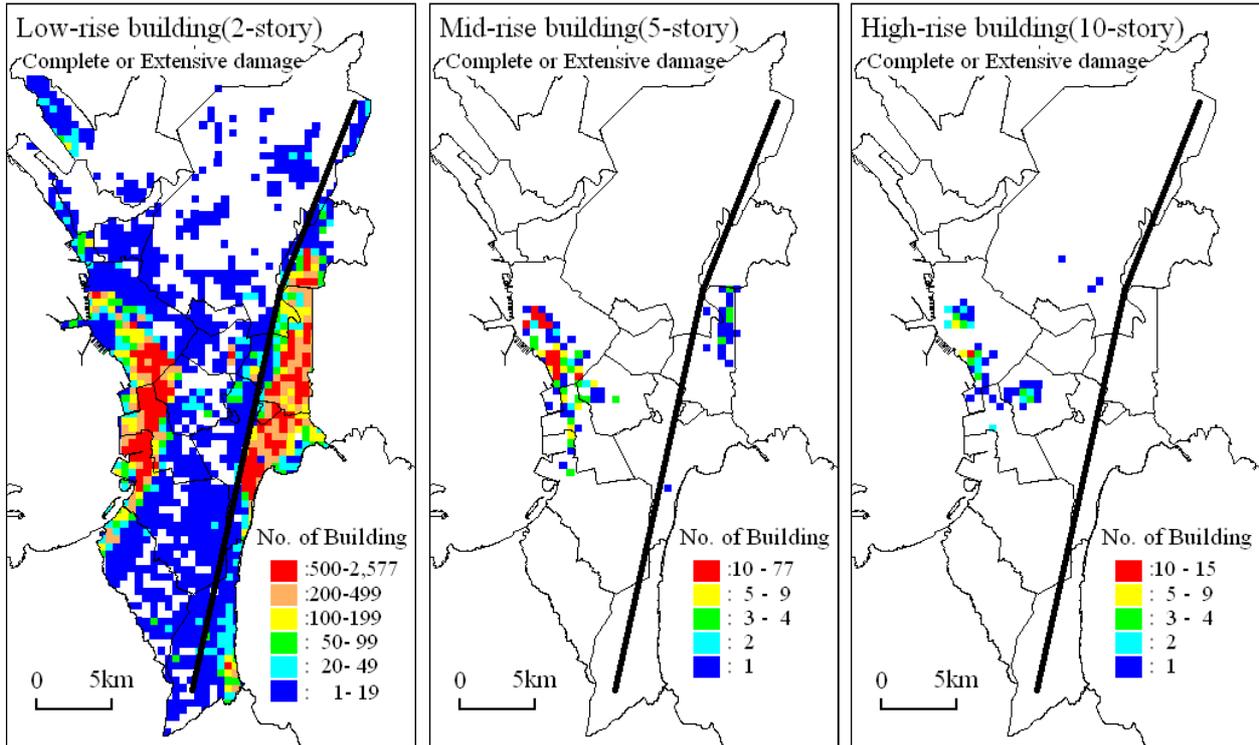
倒壊・大破率

×

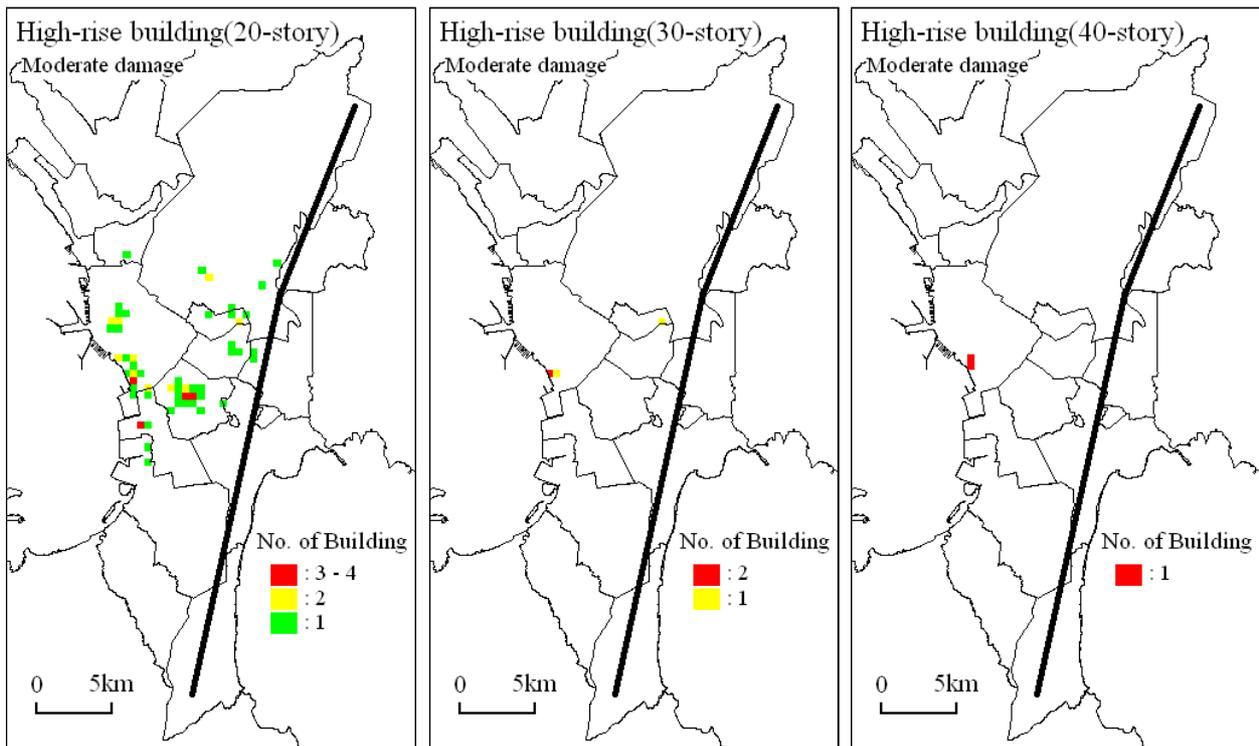


低層建物分布

建物被害予測結果 -倒壊・大破被害-



建物被害予測結果 -中破被害-



被害予測結果の比較

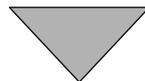
被害棟数 (倒壊・大破被害)

	既存の建物台帳 を用いたケース	更新した建物台帳 を用いたケース	増加率
2-story buildings	132,800	181,600	37%
5-story buildings	511	647	27%
10-story buildings	63	96	52%

	被害棟数 (中破被害)	増加分	
20-story buildings	42	74	76%
30-story buildings	2	4	100%
40-story buildings	2	2	-

地震被害想定における建物インベントリ作成の ためのリモートセンシングデータの利用

- ・高分解能衛星画像の利用 中高層建物分布
(IKONOS, QuickBirdなど)
- ・中分解能衛星画像の利用 低層建物分布
(Landsat, SPOT, ASTER, ALOSなど)



建物インベントリの更新・作成
地震被害想定への利用