

衛星SARを用いたダム等の インフラモニタリングについて

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

2015年4月24日

国際航業株式会社 今井靖晃

本日本話する内容

1. インフラモニタリングの必要性
2. ダムの変位計測の現状
3. 合成開口レーダによる変位計測の原理
 - ① 合成開口レーダ(SAR)とは？
 - ② SARによる変位計測の原理
4. ALOS/PALSARを用いた事例
 - ① ダム堤体の変位計測事例
 - ② その他の変位計測事例
5. まとめ

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報懇話会

1

1. インフラモニタリングの必要性

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報懇話会

2

インフラ老朽化に伴う事故

- ・ 笹子トンネル天井板落下事故
(2012年12月)
 - 死者9名、負傷者2名
 - 笹子トンネル開通は昭和52年(1977年)
- ・ ミネアポリス高速道路崩落事故
(2007年8月)
 - 死者9名、負傷者100名以上
 - 1967年に建造された橋。事故原因として老朽化が指摘



出典：読売新聞朝刊(2012年12月3日付)



出典：Wikimedia

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報懇話会

3

インフラ老朽化の深刻さ

急速な老朽化が進む

- ・ わが国のインフラは、高度経済成長期などに集中的に整備
→今後20年間で、建設後50年以上経過する施設の割合が
加速度的に高くなる見込み

	2013年3月	2023年3月	2033年3月
道路橋 [約40万橋 (※1) (橋長2m以上の橋約70万のうち)]	約18%	約43%	約67%
トンネル [約1万本 (※2)]	約20%	約34%	約50%
河川管理施設(水門等) [約1万施設 (※3)]	約25%	約43%	約64%
下水道管きよ [総延長: 約45万km (※4)]	約2%	約9%	約24%
港湾岸壁 [約5千施設 (※5) (水深-4.5m以深)]	約8%	約32%	約58%

出典:平成25年度国土交通白書

<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit1925shakusho/h26/pdf/rp101000.pdf>

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報懇話会

4

構造物点検の現状

インフラの日常点検や定期点検は点検員による目視点検が基本。必要に応じて打音調査等の各種試験を実施。多くの地方自治体では点検すら実施されず。

■道路

近寄れない
見えない

■河川
■農業
■水利
■施設

何回点検しても
見えないところ
は見えない。

■空港

点検者
には経験に
乏しい人も多い

出典: <http://www.nedo.go.jp/content/100564294.pdf>

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報懇話会

5

1

求められる効率的なモニタリング

・ これからのインフラマネジメントの課題

事後保全から予防保全へ

人口減少

厳しい財政状況

熟練技術者の減少

資料) 経済省「労働力調査」より国土交通省作成
出典:平成25年度 国土交通白書

新技術を活用した効率的なインフラモニタリングが必要

KOKUSAI KOCYO CO.,LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

6

2. ダムの変位計測の現状

KOKUSAI KOCYO CO.,LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

7

ダムの種類

アーチダム(黒部ダム)

重力式コンクリートダム(奥只見ダム)

ロックフィルダム(高瀬ダム)

KOKUSAI KOCYO CO.,LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

8

ダムの変位計測について

・ 河川管理施設等構造令

第十三条 **ダムには、次の表の中欄に掲げる区分に応じ、同表の下欄に掲げる事項を計測するための装置を設けるものとする。**
(※最低限の計測項目を規定)

堤高50m未満の重力式コンクリートダム以外、全てのダムで**変形計測**が義務付け

改定
解説・河川管理施設等構造令
河川協会 国土技術研究センター 編
社団法人 日本河川協会
技報堂出版

KOKUSAI KOCYO CO.,LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

9

ダムの変位計測頻度について

※標準的な頻度

	コンクリートダム			フィルダム		
	第Ⅰ期	第Ⅱ期	第Ⅲ期	第Ⅰ期	第Ⅱ期	第Ⅲ期
漏水量 [※]	1回/日	1回/週	1回/月	1回/日	1回/週	1回/月
変形	1回/日	1回/週	1回/月	1回/週	1回/月	1回/3月
揚圧力	1回/日	1回/週	1回/月			
巡視	1回/日	1回/週	1回/月	1回/日	1回/週	1回/月

第Ⅰ期 — 湛水開始～試験湛水終了まで
第Ⅱ期 — 第Ⅰ期以降～挙動が**定常状態**になるまで
第Ⅲ期 — 第Ⅱ期以降～
試験湛水(First Impounding)・・・ダムが完成して初めて水を貯める試験

ダムの挙動が安定している、第Ⅱ期・第Ⅲ期の変位計測では、合成開口レーダ(SAR)の適用可能性あり

KOKUSAI KOCYO CO.,LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

10

3.合成開口レーダによる変位計測の原理

①合成開口レーダ(SAR)とは？

KOKUSAI KOCYO CO.,LTD.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

11

2

合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Radar)とは

- 光学衛星(KONOSなど)や航空レーザより波長の長い**マイクロ波**を利用
- 能動的センサ**で太陽光を利用しないため、**夜も観測可能**
- 雲を透過するため**雨天時も観測可能**
- 面的な情報**が得られる
- コヒーレントな波であるため、立体視せずに**高分解能**を得ることができる

計画的観測が可能
なため、モニタリングに高い適性

災害時など緊急性が
高い状況での情報
収集に有効

Xバンド: 約3cm
Cバンド: 約5.6cm
Lバンド: 約20cm

マイクロ波リモートセンシングの観測波長域

可視・赤外線リモートセンシングの観測波長域

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

SARの特徴

波長 0.4 0.5 0.6 0.7 0.9 1 2 4 6 8 10 12 μm 100 300 mm

可視光線 赤外線

光学画像(可視光)

SAR画像(マイクロ波)

雲の下はわからない

雲の下も観測可能

SARは**夜間**でも雲の下でも観測できる

緊急観測・定期観測に適している

出典: RESTEC

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

SARで得られるもの

- 散乱強度**
→ 地表面の**凹凸状況**を反映
- 位相**
→ 位相差が**二時期の変位**を反映
- 偏波**
→ 地物の**質的状況**を反映

位相差(干渉処理)

後方散乱

偏波合成

http://www.mysu.ac.jp/~chinatsu/research/res_sar/res_sar_intro.htm

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

SARで得られる散乱強度の特徴

SAR (Synthetic Aperture Radar, 合成開口レーダ)とは
衛星から**マイクロ波**を照射し反射された信号より
対象物を観測するセンサ

強く返る

構造物

森林

返らない

裸地・水域

対象物に応じて電磁波の**反射強度**が異なる

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

バンドによる特性の違い

X BAND C BAND L BAND

VEGETATION

DRY ALLUVIUM

DRY SNOW ICE

X BAND 3 cm C BAND 5 cm L BAND 23 cm

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

写真測量とSARの比較

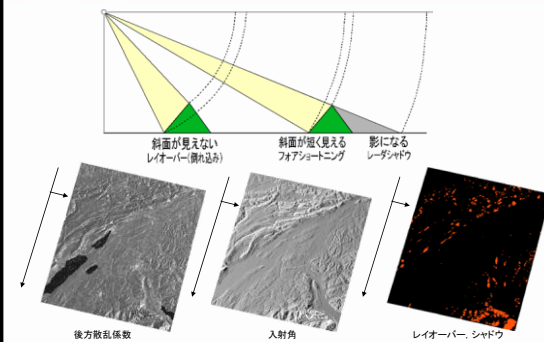
可視光 マイクロ波

写真測量

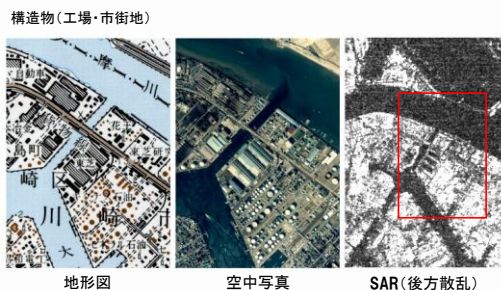
http://www.eorc.nasda.go.jp/index_i.html

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

SAR画像の幾何学的特性



SAR画像の見え方①



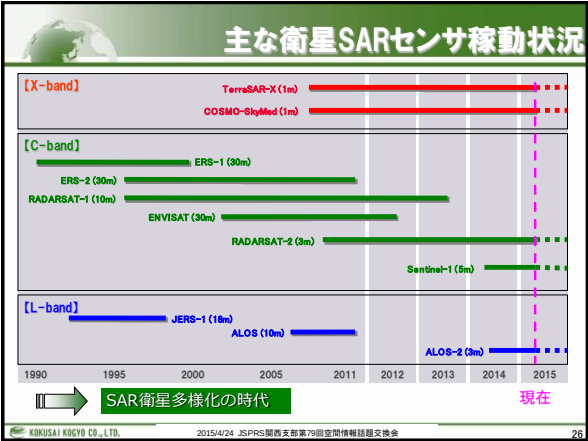
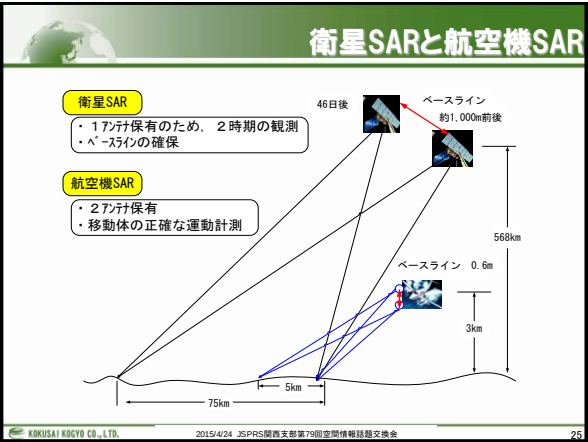
SAR画像の見え方③



主な衛星・航空機SARセンサ

名称	国	運用機関	観測期間 (年)	空間分解能 (m)	観測幅 (km)	バンド
衛星						
TerraSAR-X	ドイツ	DLR	2007 -	1.0	10.0	X
TanDEM-X	ドイツ	DLR	2010 -	1.0	10.0	X
COSMO-SkyMed 1~4	イタリア	ASI (e-GEOS)	2007 -	1.0	10.0	X
RADARSAT 2	カナダ	MDA	2007 -	3.0	20.0	C
ALOS-2	日本	JAXA/METI	2014 -	3.0	25.0	L
Sentinel-1	ESA	ESA	2014 -	5.0	80.0	C
RADARSAT 1	カナダ	MDA	1995 - 2013	8.0	50.0	C
ALOS/PALSAR	日本	JAXA	2006 - 2011	10.0	70.0	L
JERS-1/SAR	日本	JAXA	1992 - 1998	18.0	75.0	L
ENVISAT/ASAR	ESA	ESA	2002 - 2012	30.0	56-100	C
ERS-2	ESA	ESA	1995 - 2011	30.0	80.4	C
航空機						
PI-SAR2	日本	NICT	2008 -	0.3-1.0	5-10	X
PI-SAR-L2	日本	JAXA	2012 -	1.5-3.0	-20	L

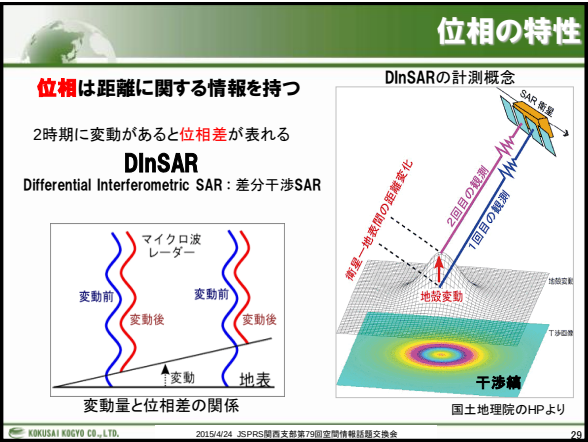
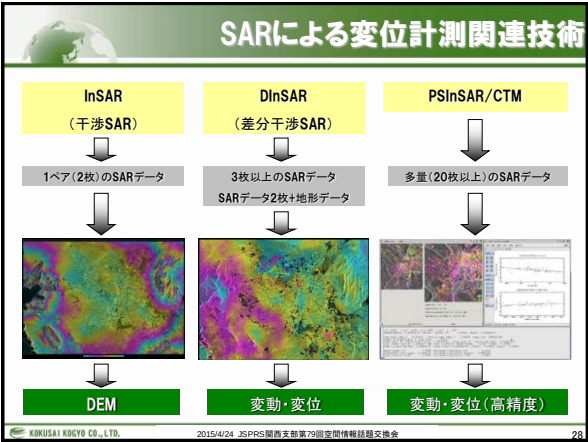
KOKUSAI KOGYO CO., LTD. 2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会 24



3.合成開口レーダによる変位計測の原理

②SARによる変位計測の原理

KOKUSAI KOGYO CO., LTD. 2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会 27



差分干渉SAR(DInSAR)

2 時期の SAR データと DEM から
変動量を把握する技術

2 目的の観測
1 目的の観測

【干渉 SAR 画像】

http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/mechanism/mechanism04.html

干渉縞

DEM

変動量

KOKUSAI Kogyo Co., Ltd.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

30

PSInSAR/CTM

PSInSAR(Permanent Scatterers Interferometric SAR)
...「恒久的な散乱点を用いた干渉合成開口レーダ」
「恒久的な散乱点」
...「ビルのような反射の位相が非常に安定した散乱体」
2000年にミラ/工科大学(イタリア)が開発した手法

恒久的な散乱点 (PS点) の概念

PSInSARによる
地盤変動の求め方

出典:佐伯・大東・福岡・水野「PSInSARとGISを用いた高層平野の地盤変動特性評価」

PSInSARによる地盤変動解析結果の例

KOKUSAI Kogyo Co., Ltd.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

31

広域を対象とした変位計測手法

手法	衛星SAR	航空レーザ測量	GPS (shamen-net)
使用機器	人工衛星(合成開口レーダ)	航空機搭載型レーザスキャナ	GPS
計測範囲	広域の面計測	広域の面計測 (高密度面計測の面展開)	ポイント計測 (面展開には多数の計測)
精度	mm~cm単位 (利用データ、処理手法等で変化)	±15cm程度	水平±1mm程度、 鉛直±1.5mm程度
観測頻度	利用衛星に依存 (衛星回帰周期を基本)	任意(データ取得時)	リアルタイム
長所	・広域の変動観測が可能 ・過去からの変動観測が可能	・広域の観測が可能 ・高密度データの取得が可能	・高精度な三次元計測データ ・気象状況に左右されにくい
短所	・処理可能なデータに制限 ・大量のデータが必要な場合あり ・解析コストが掛かる場合あり	・他手法と比較して精度が劣る ・計測精度が上空視界に依存	・ポイント計測 ・計測精度が上空視界に依存
参考費用	利用データ、処理手法等に依存 (数百万円~数千円)	データ価格 アーカイブ:4万円/km2~ 新規取得:数百万円~/回	GPS20基、24時間監視の場合 1年目:約1300万円 2年目以降:約1000万円
備考	・InSAR/DInSAR/PSInSAR/CTM 等の処理手法あり		

KOKUSAI Kogyo Co., Ltd.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

32

変位計測に対するSARと航空レーザ測量の比較

SAR

航空レーザ測量

①画像再生処理
②データ抽出
③アンサンブル処理
④差分処理
⑤精度評価・変位算出

①軌道解析処理
②レーザデータ処理
③ノイズ除去処理
④オルソ画像処理

KOKUSAI Kogyo Co., Ltd.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

33

4. ALOS/PALSARを用いた事例

①ダム堤体の変位計測事例
~(独)土木研究所との共同研究成果より~

KOKUSAI Kogyo Co., Ltd.

2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

34

使用したデータ

ALOS(だいち)

PALSAR

ALOS(だいち)
DRC(ディアルシー):
データ中継衛星通信用アンテナ
太陽電池パドル
PRISM(プリズム):
パナクロマティック立体観測センサ
PALSAR(パルサー):
フェーズドアレイ方式
Lバンド合成開口レーダ
AVNIR-2(アブニールツー):
高性能可視近赤外線放射計2型
JAXAのHPより

PALSAR
・Lバンド
・分解能10m
・46日回帰
・4年間14回観測

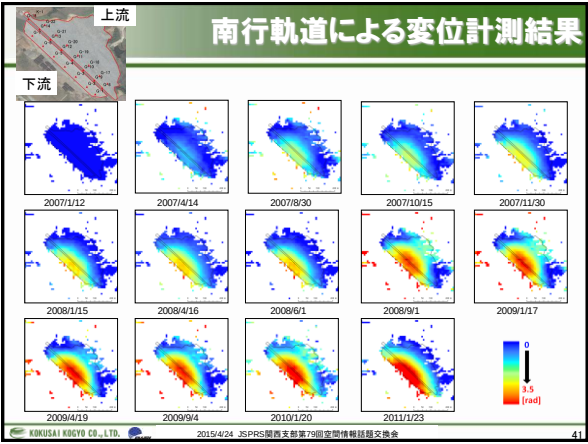
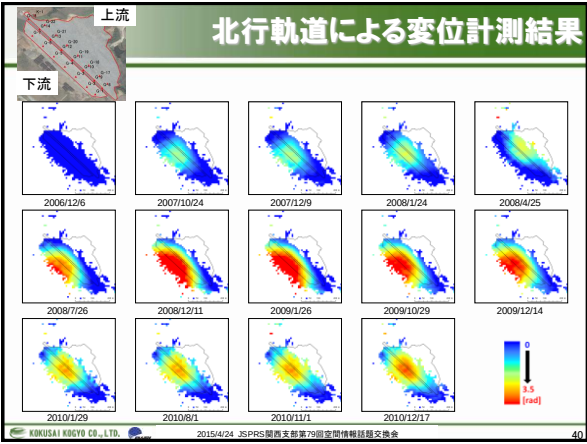
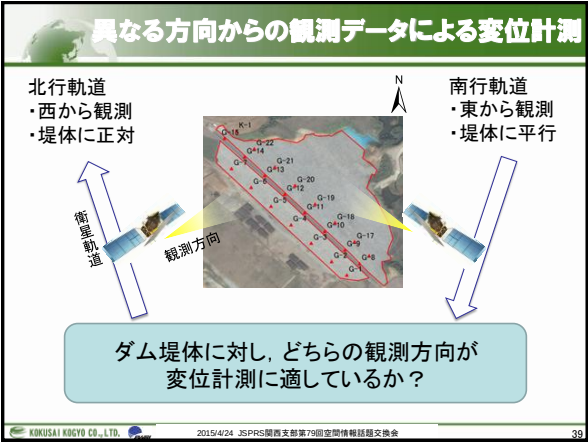
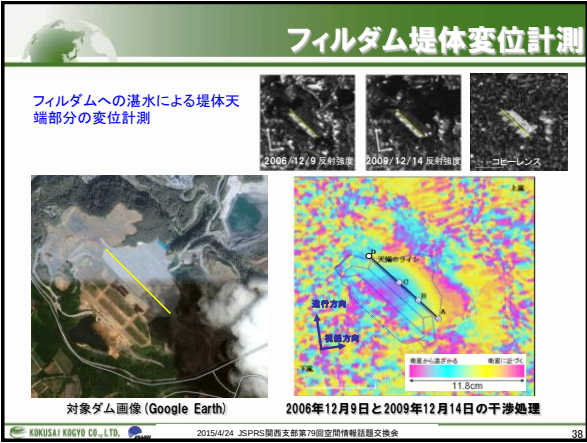
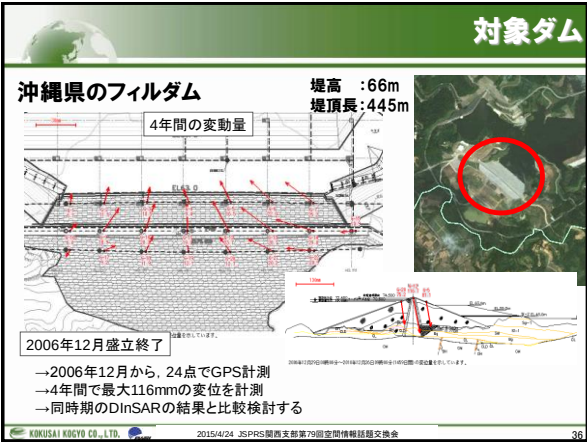
2006年12月6日~2010年12月17日の4年間のデータ
14期、39個の干渉ペアについて解析を実施
全ての結果をスタッキング処理してダム堤体の変形量計算

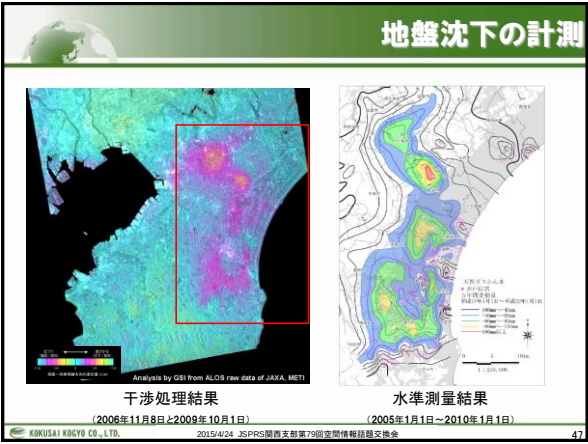
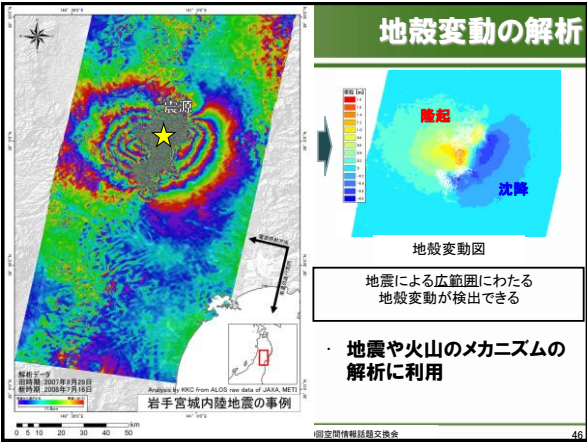
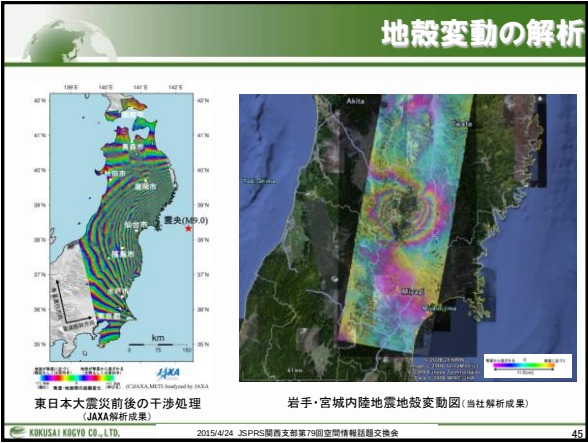
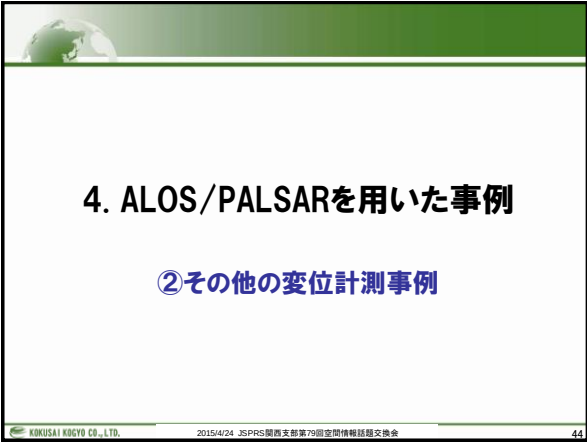
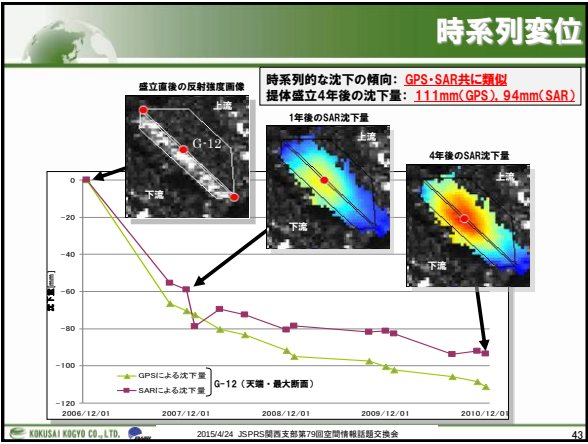
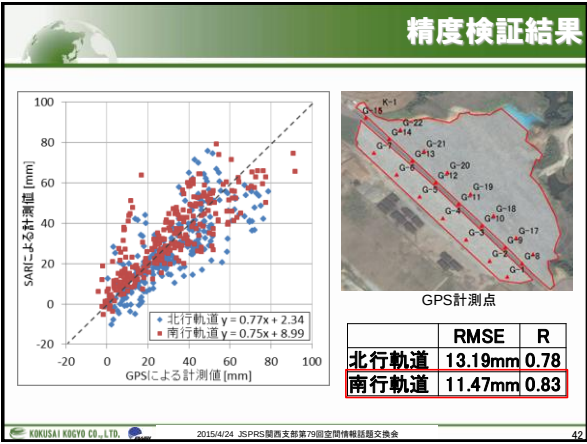
KOKUSAI Kogyo Co., Ltd.

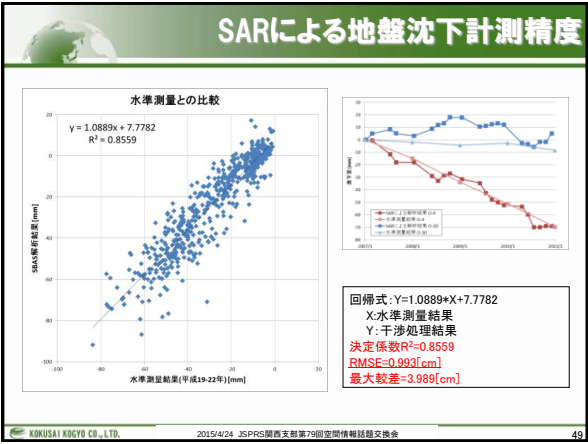
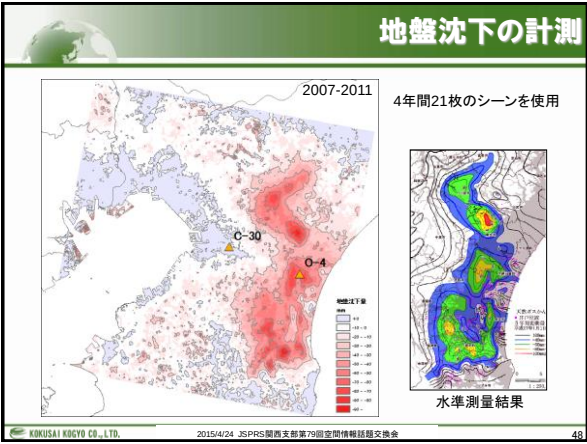
2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会

35

6







5. まとめ

KOKUSAI KOGYO CO., LTD. 2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会 50

- ### インフラモニタリングに対するSARの利点
- ・ **SARの利点**
 - 数cmの精度で変位を計測できる
 - **広範囲を一度に観測できる**
 - 夜間や雲の下でも観測できる
 - ・ **定期観測・緊急観測**に適している
 - 新規衛星の打ち上げが進んでいる
 - ・ **ALOS-2**: 2014年5月に打ち上げ
⇒ 2014/11/25から一般配布開始(有償)
 - ・ Sentinel-1(欧州): 2014年4月に打ち上げ
 - ・ RCM(加): 2018年予定
 - ・ COSMO-SkyMed 2nd: 2016年以降
- KOKUSAI KOGYO CO., LTD. 2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会 51

- ### 今後の展望
- ・ 土木構造物の変位計測の**高精度化**(高解像度, 両側観測, etc)
 - ・ 土木構造物の**平時の変位計測**への適用
→ 安全管理の**コスト削減**
 - ・ 土木構造物の**非常時の変位計測**への適用(地震, 洪水, etc)
→ 地震等はどこで発生するか不明
→ 非常時の変位計測のためには、**多くの場所で平時の計測が必要**
... 測量, GPSでは困難(日本のダム数: 約2800基, ため池: 数万)
 - ・ **世界の土木構造物の安全管理への貢献**
... 途上国では、ダムの安全管理が必ずしも十分ではない
→ SARによる途上国の土木構造物の変位計測の将来性・重要性
- 多くのインフラモニタリングにSARの利用可能性がある!!**
- KOKUSAI KOGYO CO., LTD. 2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会 52

ALOS-2 SOLUTION BOOK

ALOS-2 だいち2号 SARデータの 利用提案

「ALOS-2 SOLUTION BOOK」(JAXA発行)に 当社と土木研究所の共同研究事例が掲載 機会がございましたら、ぜひご覧ください!

KOKUSAI KOGYO CO., LTD. 2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報話題交換会 53



ALOS-2 SOLUTION BOOK



出典：JAXA Web特集「私たちの生活に浸透するJAXAの衛星」http://www.jaxa.jp/projects/feature/sate/ife/imai_j.html

JAXA Web特集「私たちの生活に浸透するJAXAの衛星」に当社と土木研究所の共同研究事例が掲載されました。



2015/4/24 JSPRS関西支部第79回空間情報基盤技術交流会

54

ご清聴ありがとうございました。



今井 靖晃
国際航業株式会社 地理空間基盤技術部
E-mail: yasuteru_imai@kk-grp.jp
URL: <http://www.kk-grp.jp/>