



# リモートセンシング技術を活用した 堤防管理の高度化・効率化に関する技術開発

～ **Technology Development for Sophistication and Efficiency  
of River Management using Remote Sensing** ～

《SIP：戦略的イノベーション創造プログラム》  
「社会インフラのモニタリング技術の活用推進に  
関する技術開発」

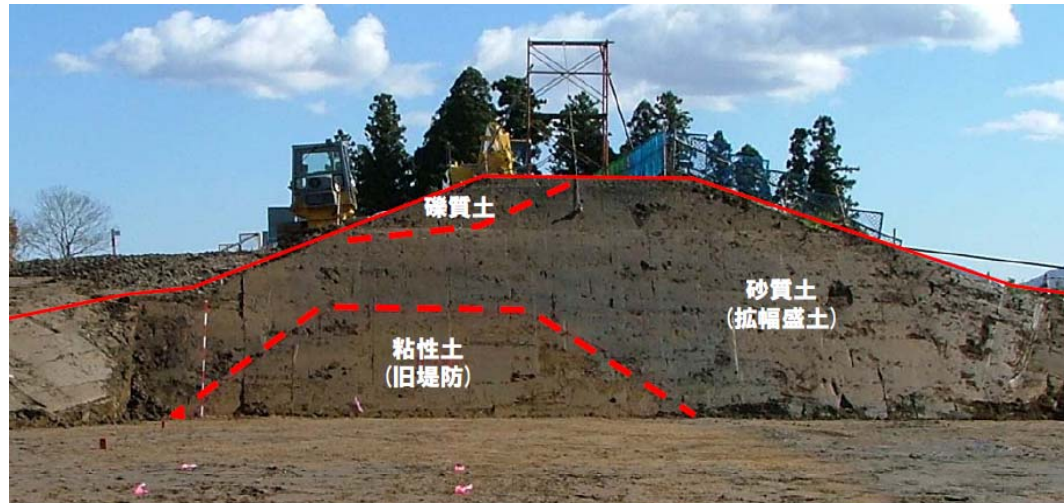
平成27年11月17日



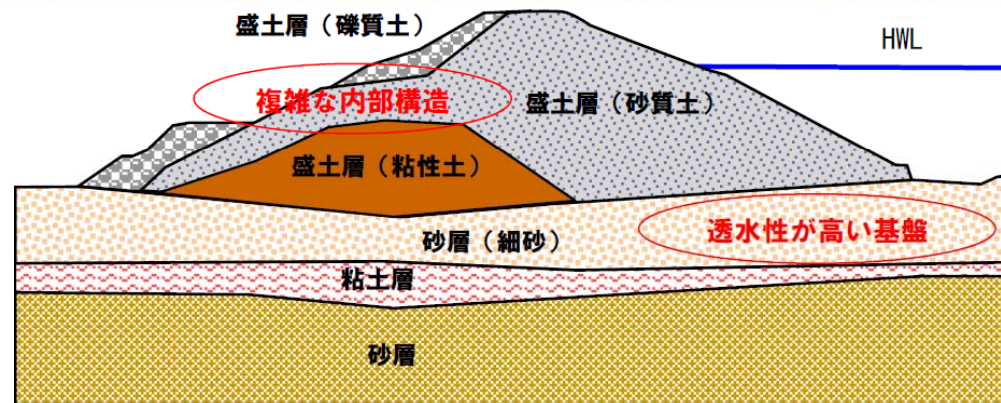
## ◆河川堤防

- ・洪水を低平地に氾濫させず、安全に河口まで導く **線状構造物**
- ・盛土履歴が複雑かつ、**不均質な材料**で構成された脆弱な構造物

◆堤防開削断面 (阿武隈川下流右岸36k付近)



◆破堤状況 (出石川10k付近)



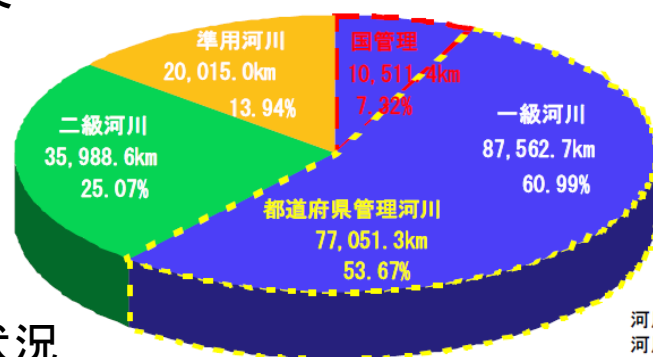
※堤防及び基盤の土質イメージ

# 1. 技術開発の背景 (3)

## ◆河川堤防の延長と整備率

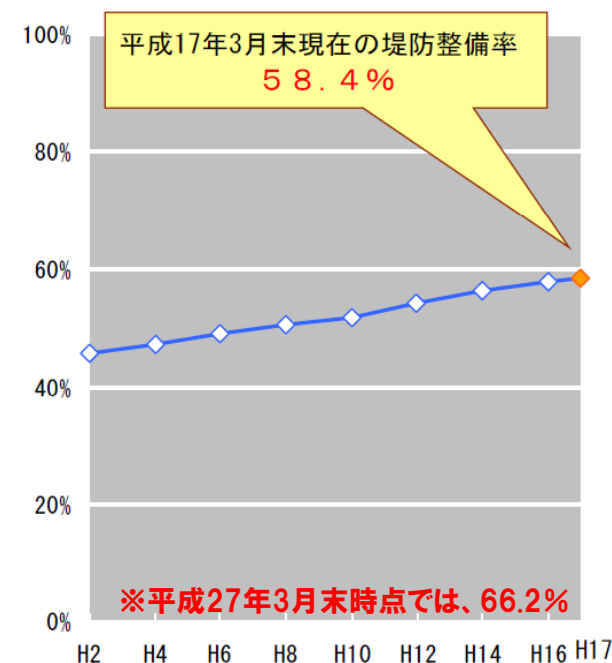
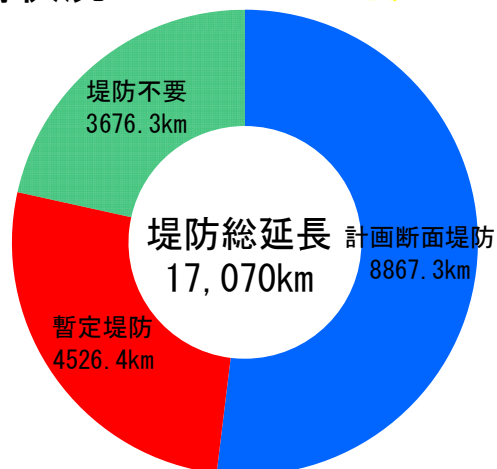
- 法（河川法）河川の総延長約14万km（内、直轄河川1万km）
- 直轄河川の堤防総延長 1.7万km（要管理区間約1.35万km）
- 堤防整備率 平成27年3月末現在66.2%（水管理・国土保全局HPより）  
※平成17年3月末からの10年で8%の進捗

### ■法河川延長



河川便覧2004により  
河川局作成

### ■堤防整備状況



※平成27年3月末時点では、66.2%

$$\text{堤防整備率 (\%)} = \frac{\text{完成堤防延長}}{(\text{堤防延長} - \text{堤防整備不要区間延長})} \times 100$$

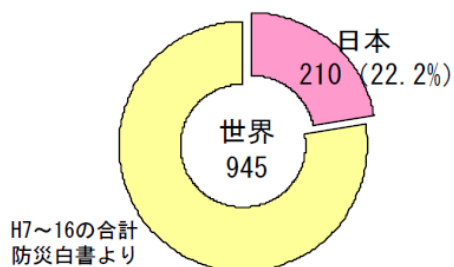
注) 堤防延長等に関するデータは河川便覧2004による

# 1. 技術開発の背景 (4)

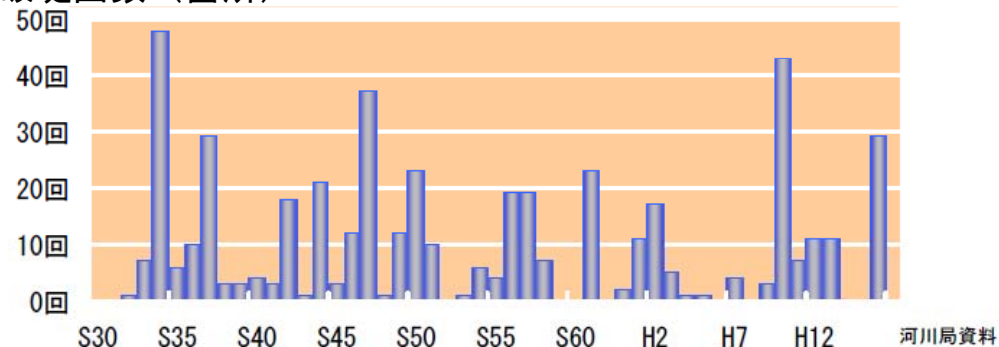
## ◆堤防の現状（脆弱性※平成17年時点）

- 大規模地震の発生頻度が高い
- 河川整備が進展しているにもかかわらず、集中豪雨等による破堤が相次ぎ発生
- 点検延長10,050kmに対して、36%の堤防が浸透破壊に対して要対策
- 平成17年度に実施した緊急点検（現地目視）で約1000か所の異常を把握

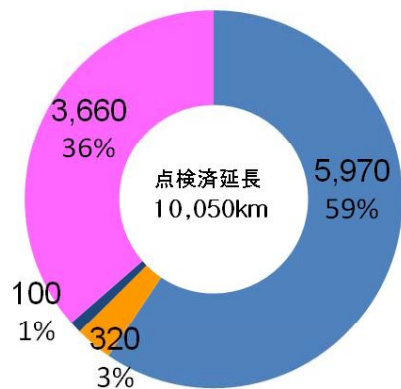
### ●マグニチュード6.0以上の地震回数



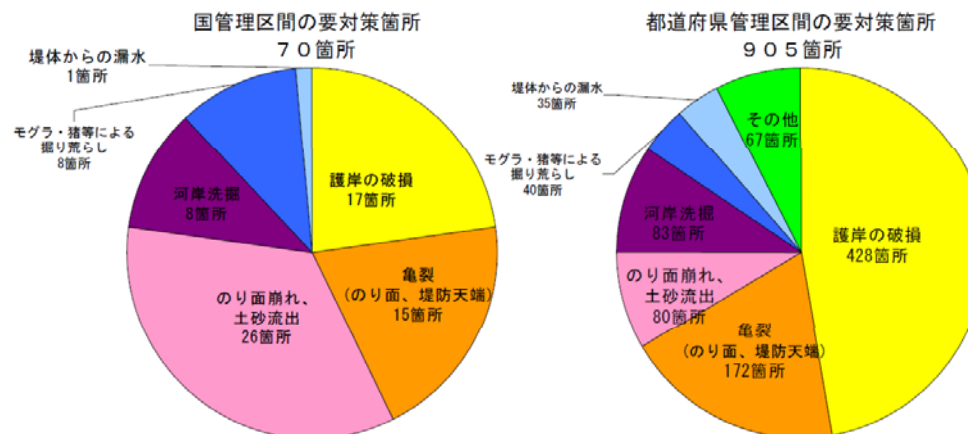
### ●破堤回数（箇所）



### ●詳細点検結果（平成17年度末時点）



### ●堤防等の河川管理施設の緊急点検結果（平成17年7月）



## ◆河川堤防の現在の維持管理方法《堤防巡視：例》

・巡視：週1～2回以上、車・自転車等にて実施



## ◆河川堤防の現在の維持管理方法《堤防点検》

- ・点検：年2回（出水期前・台風期）に加え、出水時、出水後、地震後（規模より）実施



出典：国土交通省 水管理・国土保全局HP [http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/past\\_shinngikai/shinngikai/shakai/kasenkanri/](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/shinngikai/shakai/kasenkanri/)

### ■点検で確認する事象

- ①亀裂、②陥没や不陸、③法崩れ、④沈下、⑤堤脚保護工の変形、⑥はらみ出し
- ⑦寺勾配、⑧モグラ等の小動物の穴、⑨樹木の侵食、⑩侵食（ガリ）、⑪漏水・墳砂
- ⑫植生の異常、⑬排水不良、⑭護岸の変形・変状

### ■点検結果の評価（明確な評価値はなく、目視で経験的判断を要する）

- 区分a：異常なし（目視できる変状がない、または軽微な変状は確認できるが機能に支障無）
- 区分b：要監視段階（軽微な補修が必要であるが機能に支障無、進行する可能性がある）
- 区分c：予防保全段階（機能に支障はないが予防保全の観点から措置を行うことが望ましい）
- 区分d：措置段階（機能に支障をきたしている、補修または更新が必要）

# 1. 技術開発の背景 (6)

## ◆堤防の異常事象の事例①

### ■亀裂

地震、堤防変形、車両等による荷重で発生



### ■陥没や不陸

構造物周辺の吸出し、堤防変形、車両の通行等により発生



### ■法すべり

地盤の緩み、雨水等浸透によりすべり破壊が発生



出典:河川維持管理技術講習会テキスト(基本編・応用編) 発行:一般財団法人 河川技術者教育振興機構

出典:国土交通省 水管理・国土保全局HP [http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/past\\_shinngikai/shinngikai/shakai/kasenkanri/](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/shinngikai/shakai/kasenkanri/)



## ◆堤防の異常事象の事例②

■モグラ等の小動物の穴  
モグラ、キツネ、イノシシ等・・・



■はらみ出し



■寺勾配



出典:河川維持管理技術講習会テキスト(基本編・応用編) 発行:一般財団法人 河川技術者教育振興機構

出典:国土交通省 水管理・国土保全局HP [http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/past\\_shinngikai/shinngikai/shakai/kasenkanri/](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/shinngikai/shakai/kasenkanri/)

## ◆堤防の異常事象の事例③

■排水不良・墳砂・漏水



■侵食（ガリ）



■侵食（法面）



■樹木繁茂



■その他（護岸の段差）

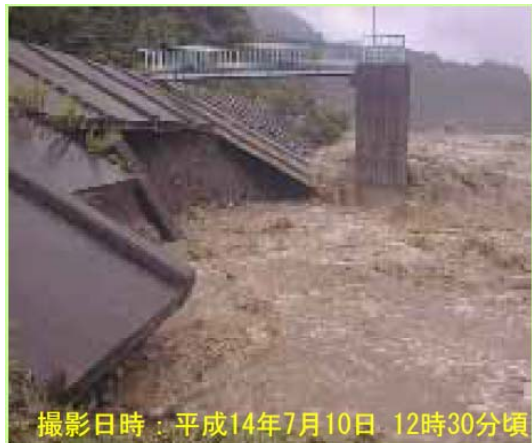


出典：河川維持管理技術講習会テキスト(基本編・応用編) 発行：一般財団法人 河川技術者教育振興機構

出典：国土交通省 水管理・国土保全局HP [http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/past\\_shinngikai/shinngikai/shakai/kasenkanri/](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/shinngikai/shakai/kasenkanri/)

## ◆堤防の被災事例

- 洪水時には、流水による侵食、浸透破壊等、堤防機能に支障をきたす変形が発生する。
- 地震時には、地震による揺れ、液状化に伴う、堤防機能に支障をきたす変形が発生する。



撮影日時：平成14年7月10日 12時30分頃

堤防侵食事例(揖斐川支川根尾川)



地震時の堤防破壊事例(湊沼川)

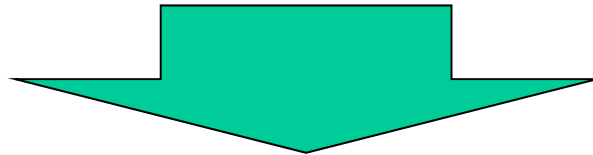


地震時の天端クラック事例(利根川)

出典：国土交通省 水管理・国土保全局HP [http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/past\\_shinngikai/shinngikai/shakai/kasankanri/](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/shinngikai/shakai/kasankanri/)

## ◆今後の維持管理の課題 (keyword)

- ①長大な堤防の維持管理に莫大な費用を要する (予算削減)
- ②技術職員の減少により、巡視・点検の体制構築が困難 (高齢化の進行)
- ③目視判断では技術者個人の力量に依存 (技術の伝承)



**維持管理の効率化 (省力化)、高度化が必要**

## ◆技術開発コンセプト

- ①低予算で効率的かつ、効果的な監視方法の確立
- ②誰でも同じ評価となる定量的な判断手法・指標の確立  
※地域性 (堤防の構造、材料、基礎地盤、出水特性等) は考慮すべき

### 【技術開発目的・内容】

- ・求める精度と得られるデータの特性を生かした監視手法の開発

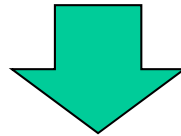
ALOS-2

衛星の計測情報から  
広域の堤防変形  
を検知



UAV

抽出された危険箇所をUAVで可視画像撮影・地形計測



定量的に危険箇所を抽出できる判断基準・手法  
効率化(省力化)できる監視結果を提供するシステムの構築

### 【技術的なポイント】

- JAXA ALOS-2衛星から取得できるSAR画像から変形量の画像化を行い、経年的な堤体変形量（最大年4回程度）を計測し、データを蓄積することで地形観測精度及び地形変化(差分)評価の精度向上が図れ、詳細な変動を把握できるようになると考える。
- データ蓄積により信頼性の高い地形差分を算定し、広域な堤防外観の変形を判断できる情報を基に危険箇所の抽出を自動的に実施できる判断基準・手法を開発する。
- 抽出した危険箇所の詳細状況を把握する手法として、UAVによる可視画像撮影及び地形計測を実施することで、定量的な評価を可能とするとともに、省力化、迅速性、安全性向上が図れる。

## 2. 技術開発目的とスケジュール(2)

項目	平成26年	平成27年	平成28年	平成29年	平成30年
(1) ALOSのアーカイブデータでの堤防変形量解析					
(2) ALOS-2のデータ解析による堤体変形量解析					
(3) UAVの画像撮影と写真測量技術の精度検証					
(4) ALOS-2、UAVの観測結果比較検証					
(5) 危険箇所抽出方法の検討					
(6) 堤防監視システムの構築					

技術開発項目	JAXA	NK
<b>(1) ALOSのアーカイブデータでの堤防変形量解析</b> ※ALOS/PALSARなどの振幅画像や干渉SAR技術を適用して得られる変位量と現地測量との比較・検証により変状箇所や危険箇所抽出に係る評価	◎	○
<b>(2) ALOS-2のデータ解析による堤体変形量解析</b> ※経年的に変位し続けた実証現場において、ALOS-2観測データなどによる干渉SAR技術を適用して得られる堤体変形量の計測	◎	—
<b>(3) UAVの画像撮影と写真測量技術の精度検証</b> ※UAVによる画像撮影と地形計測のためのデータ解析、並びに現地測量	—	◎
<b>(4) ALOS-2、UAVの観測結果比較検証</b> ※ALOS-2の観測結果と現地変状観測結果の比較・検証	◎	◎
<b>(5) 危険箇所抽出方法の検討</b> ※ALOS-2及びUAVなどによる広域堤防の治水安全性に関わる危険箇所の抽出手法の確立	◎	◎
<b>(6) 堤防監視システムの構築</b> ※ALOS-2及びUAVなどによる堤防変状の把握・評価システム構築のための手順化やマニュアル作成	◎	◎

### 3. 平成26年度\_研究成果(1)

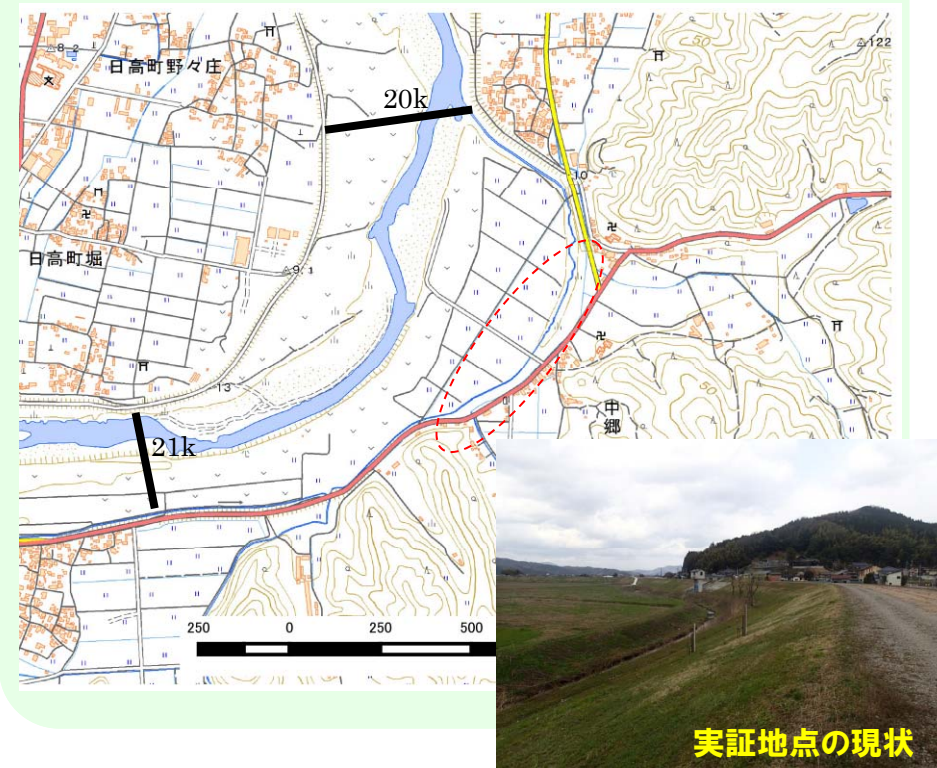
#### 【実証フィールドと平成26年度\_実施内容】

- ①ALOSのアーカイブデータを用いて統計解析によりSAR画像から把握できる変状量を算定し、実測との比較を実施
- ②現地測量(単点測量)、UAV(無人ラジコンヘリ)での地形把握を実施し、基礎データを取得

#### 【実証区間①】円山川右岸 13.0k~14.0k



#### 【実証区間②】円山川 右岸 20.2k~20.6k



#### 《特徴・選定理由》

実証区間①：平成16年の台風23号時の破堤箇所（築堤後の変状監視データがある区間）

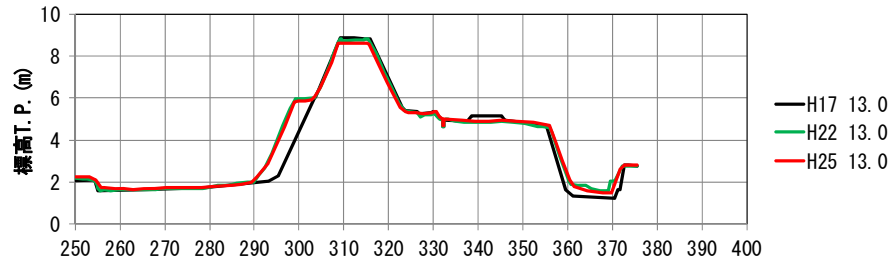
実証区間②：近年、築堤工事が完了し、圧密沈下に伴う変状の可能性が高い箇所

### 3. 平成26年度\_研究成果(2)

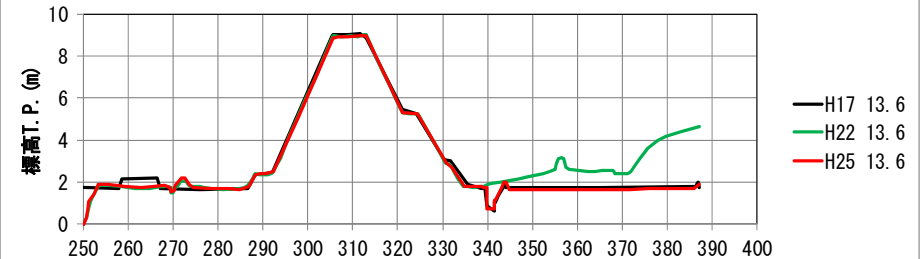
#### 【既往変遷実態\_定期横断測量】

- H17年度、H22年度、H25年度の定期横断測量成果を重ね合わせ、変状量を把握
- ALOS運用期間(H18~H23 : 2006~2011年)内の工事断面は13.2k、その他区間は天端高等の変状が発生

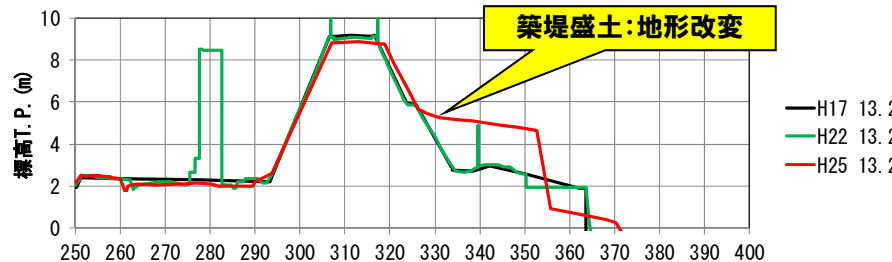
13.0K地点：定期横断測量重ね合せ図



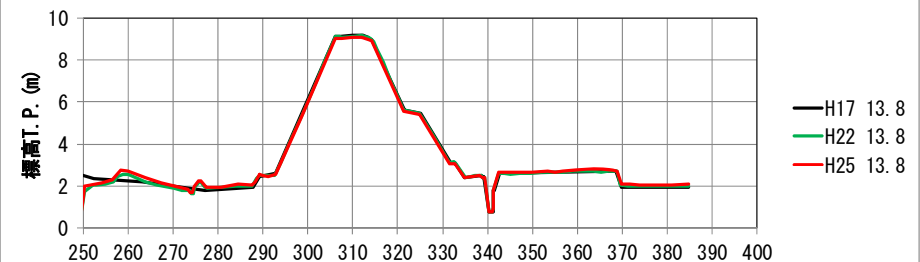
13.6K地点：定期横断測量重ね合せ図



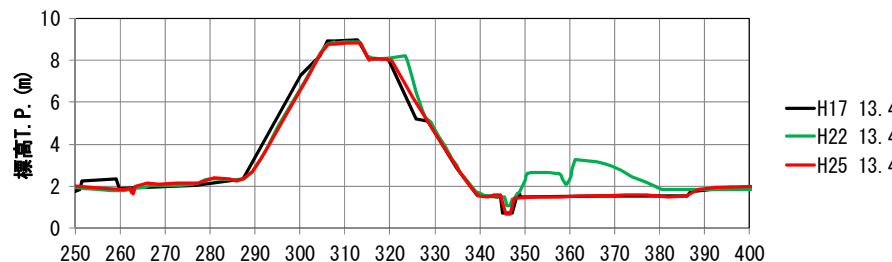
13.2K地点：定期横断測量重ね合せ図



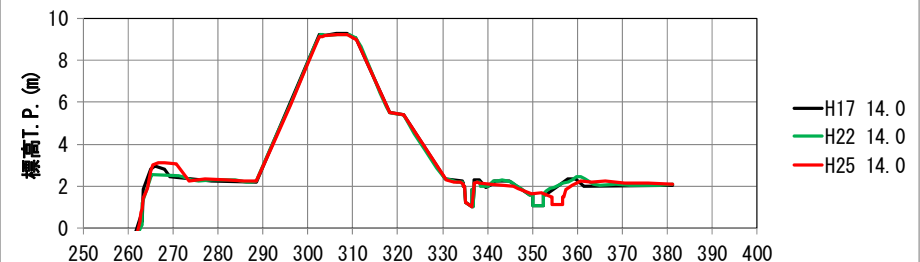
13.8K地点：定期横断測量重ね合せ図



13.4K地点：定期横断測量重ね合せ図



14.0K地点：定期横断測量重ね合せ図

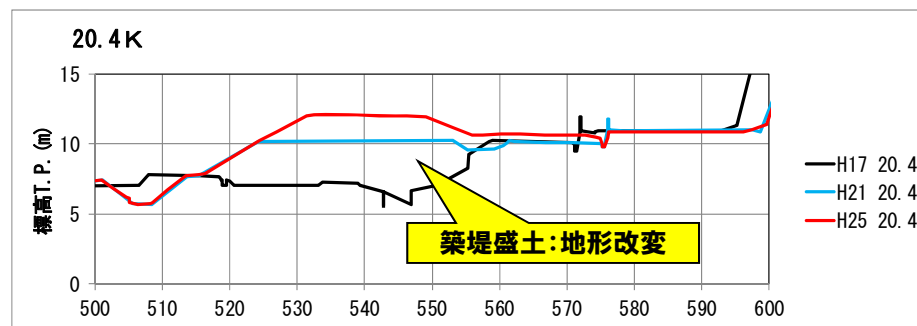
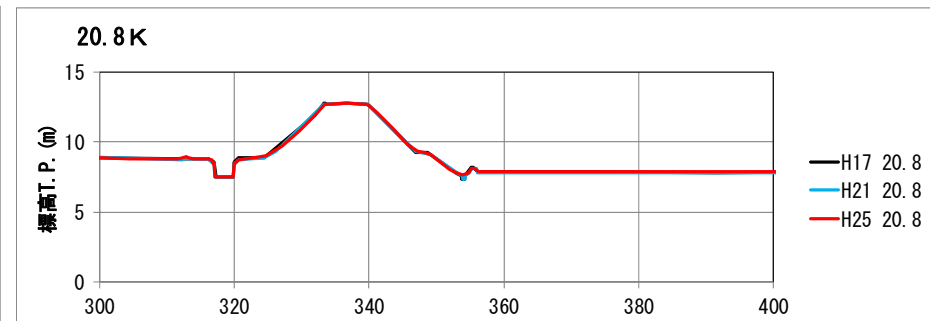
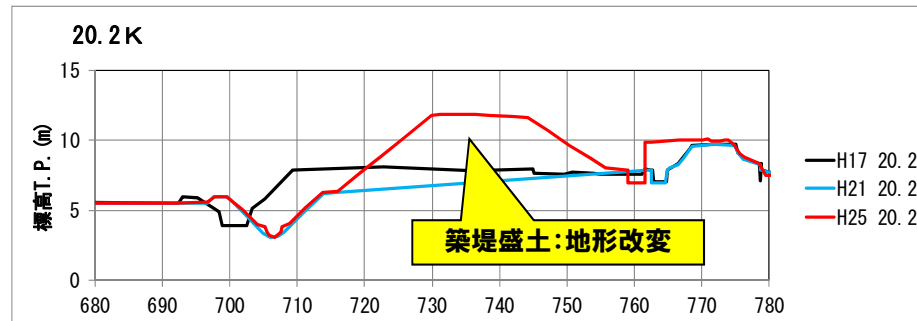
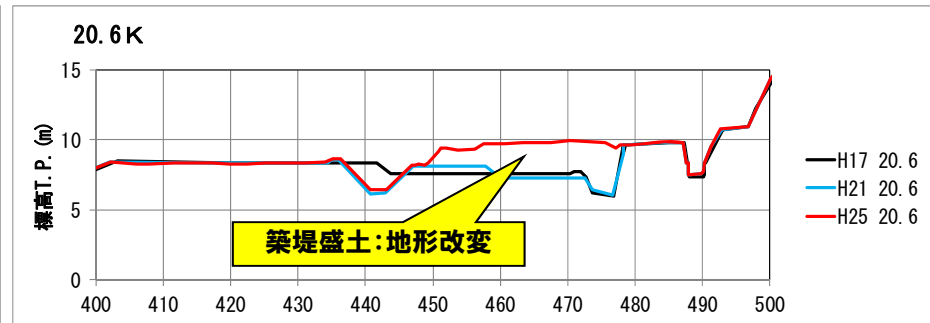
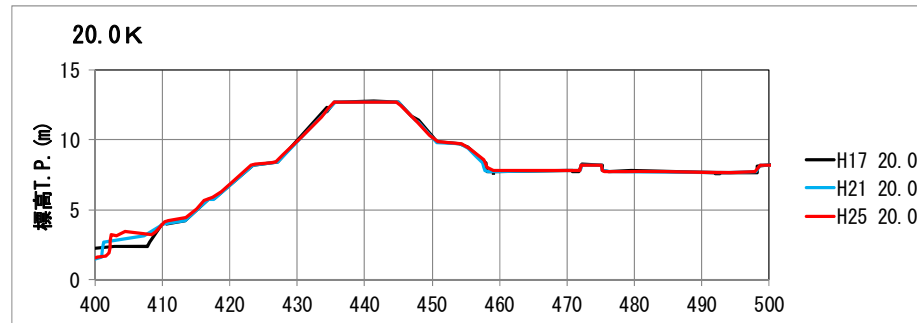




### 3. 平成26年度\_研究成果(3)

#### 【定期横断測量】

定期横断測量がH17年度、H22年度、H25年度で実施されており、ALOS運用期間(2006 H18~2011 : H23)に20.2k~20.6kで築堤工事が実施され、大きな変状が確認できる範囲となる。



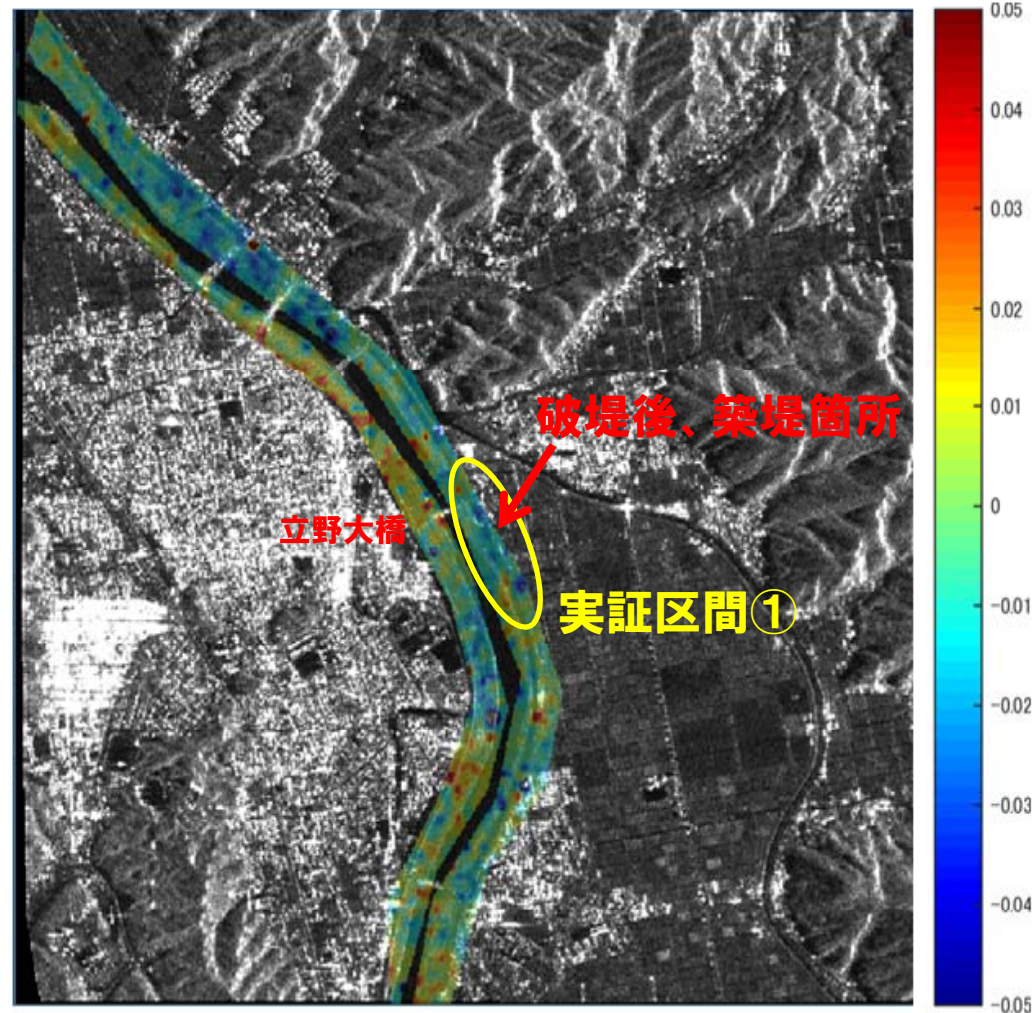
### 3. 平成26年度\_研究成果(4)

#### 【ALOSのアーカイブデータによる変状計測結果】

- ・実証区間①周辺の地形変化量をALOSのアーカイブデータにより分析した。
- ・破堤箇所(立野大橋上流)の築堤後の圧密沈下状況をとらえられている。

円山川堤防沿いの沈下速度の分布(m/年)

変動の速度を可視化したもの。  
実際の解析データをフィルタリングで可視化している。



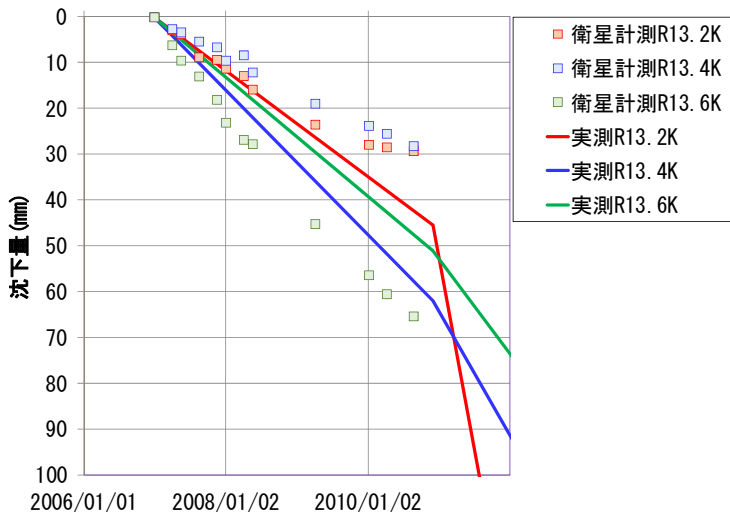
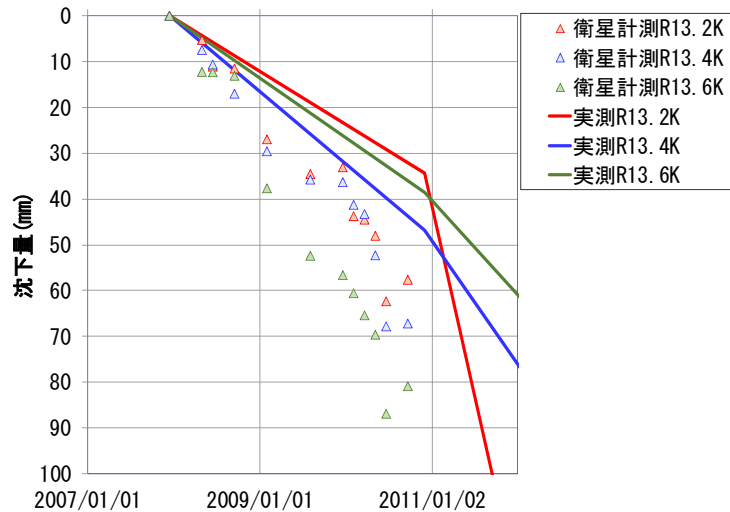
### 3. 平成26年度\_研究成果(5)

#### 【ALOSのアーカイブデータによる変状計測結果】

実証区間①の代表箇所での地形変動量(実測)を時系列解析結果と比較すると下図のとおり、地盤高変化誤差は、10mm~30mm程度であるが、沈下傾向は十分に把握できる結果が得られた。



軌道	降交軌道	昇交軌道
観測日	2006/12/28	2007/12/13
	2007/3/30	2008/4/29
	2007/5/15	2008/6/14
	2007/8/15	2008/9/14
	2007/11/15	2009/1/30
	2007/12/31	2009/8/2
	2008/4/1	2009/12/18
	2008/5/17	2010/2/2
	2009/4/4	2010/3/20
	2010/1/5	2010/5/5
	2010/4/7	2010/6/20
	2010/8/23	2010/9/20
観測方向	真西から北方向 へ約10度	真東から北方向 へ約10度



距離標杭座標値の時系列プロット(上)降交軌道、(下)昇交軌道

➤誤差要因は、ALOSのデータが10m解像度の平均地盤高に対して、実測が同一点の変化量データであるため、誤差が生じたと推察する。

➤しかし、計測結果は、傾向を捉えており、10mm~30mm程度の誤差は許容範囲と判断する。

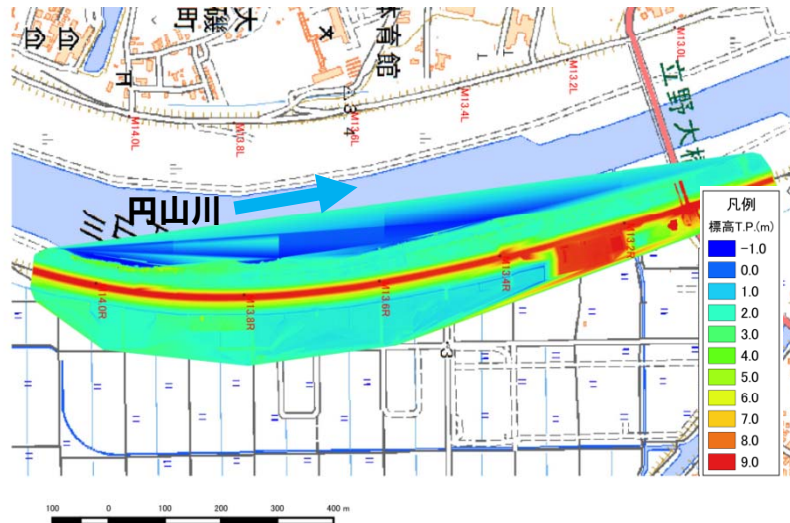
➤解像度の高いALOS-2のデータの使用に加え、軌道別の特性を分析することで、観測精度の向上が図れると考えている。

### 3. 平成26年度\_研究成果(6)

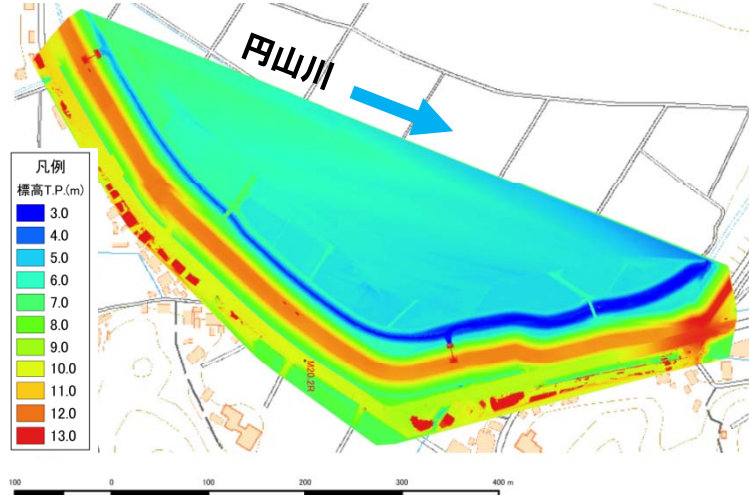
#### 【UAV計測と計測結果の3次元化】

- ・実証箇所のUAVによる地形計測(写真測量)を実施し、可視画像を用いた3次元化データを作成

#### 指定区間 13.0k~14.0kのUAV測量結果



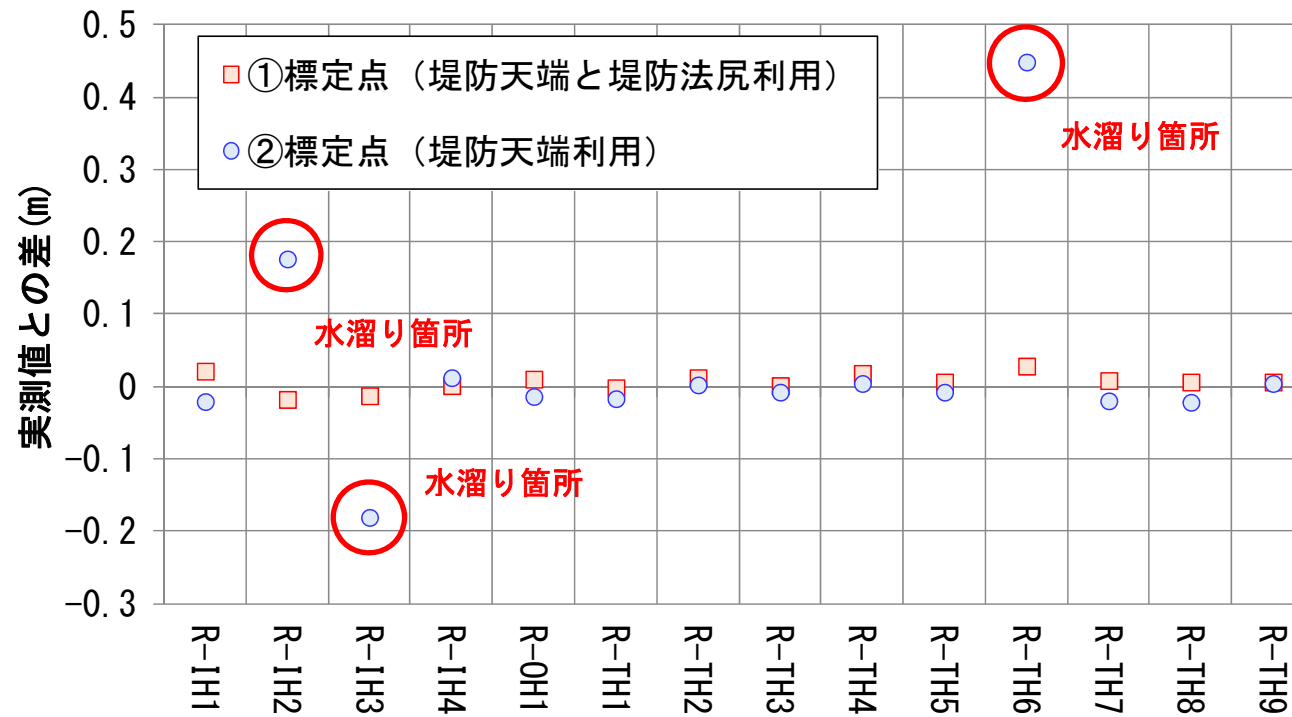
#### 追加区間 20.2k~20.6kのUAV測量結果



### 3. 平成26年度\_研究成果(7)

#### 【UAV計測(写真測量)の精度検証】

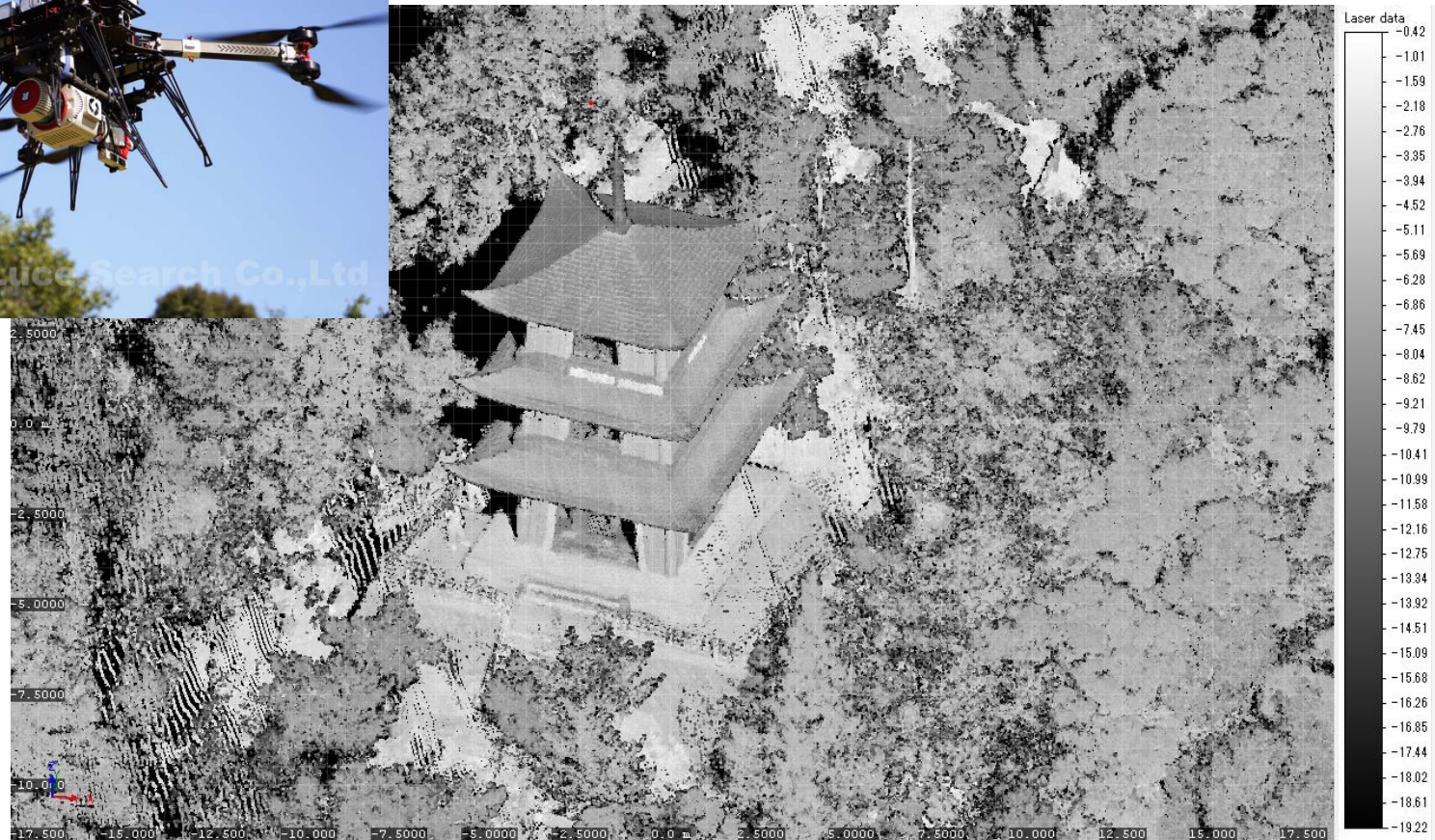
- ・基準評定点が堤防天端のみでは、精度が低いが、法尻にも評定点を設置することで精度向上
- ・地形測量(RTK)との精度検証を実施し、最大で±5cm程度の誤差が見られた。



### 3. 平成26年度\_研究成果(8)

#### 【UAV計測の新技術の紹介】

- ・レーザプロファイラを搭載したUAV
- ・点群データで3次元的な空間標高、樹木、樹木下の地盤高等も把握可能である。



## 4. 平成26年度時点のまとめ

### (1) 現時点で把握できている技術開発上の課題と対応方針

- ALOSのアーカイブデータから、堤防変状を把握することの可能性は十分示唆されたが、軌道によって計測値がことなる要因が不明である。
  - ◆ALOS-2の観測データを分析し、軌道による観測誤差、解像度の違いによる精度向上が図れるか検証する。
- 通常点検時に確認する事象が、SARデータでどのようにとらえられるかが不明である。
  - ◆実証現場に障害物を設置し、ALOS-2でどのようにとらえられるか、形状、事象によっての特性を整理し、堤防監視時の異常判断方法を決定する。

### (2) 衛星データの活用による河道管理への展開方策

- 河川の維持管理は、堤防を健全に保持することも重要であるが、洪水を安全に流すための河道の断面の維持、河川の適切な利用を監視、河川環境の維持なども同時に行っている。
- SARデータを利用した既存技術を応用することで、より効率的に河道管理が可能となる。

#### 《堤防監視以外の展開方策》

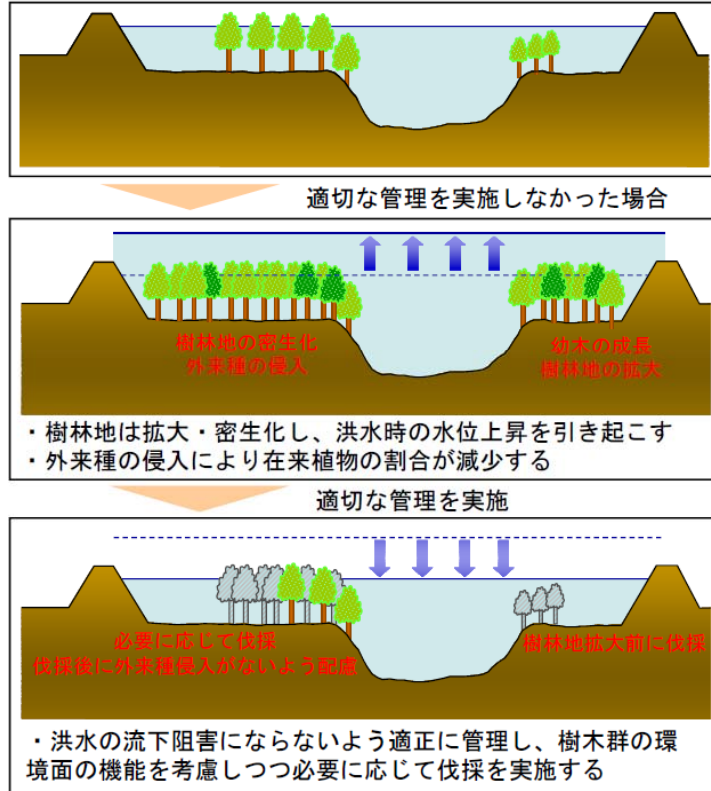
- ①河道内の樹木繁茂状況、変遷の把握（断面確保、河川環境）
- ②不法係留、不法投棄等の実態把握（河川利用）
- ③砂州の状況、変遷把握（断面確保、河川環境）

# 5. 河川管理への展開方策(例: 樹木管理)

## 《技術開発の必要性》

- 河道内は、樹木等が繁茂し、洪水を安全に流すための障害となるため、適切に樹木を伐採し、河川環境と治水機能を維持してきている。
- 樹木の繁茂実態を把握することは、河川管理上重要な事項であるため、既存の森林判断技術を応用して、河道内の樹木の変化等をとらえることで、維持管理の効率化、定量的な樹林化進行状況を把握する。

### ○河道内の樹林化が引き起こす課題



### ○樹林化の進行状況を把握するための技術

PALSAR 10m Global Forest/Non-Forest Map 2009

©JAXA, METI analyzed by JAXA

©JAXA, METI analyzed by JAXA

©JAXA, METI analyzed by JAXA

① 田植え期  
田植え期の水田を撮影 (衛星機は電波SARより撮影、2013年6月10日)  
赤の高値から、水田を抽出する。青がリコン内の水田、赤がリコン内の水田以外。

② 稲刈り期  
生育期の水田を撮影 (衛星機は電波SARより撮影、2013年6月8日)  
赤の高値から、水田を抽出。抽出した水田(黄緑リコン内)の水田状況を確認して水田が作られたことを判断する。

作物の表面は水田が鏡のように滑らか。電波は入射方向とは逆に反射する。そのため人工衛星には電波が戻ってこない。画像上では暗くなる。

田植え期: 田植え後、しばらくは電波の戻りが弱く、画像上では薄暗くなる。

稲刈り期: やがて稲の生育とともに電波の戻りが強くなり、画像上では明るくなる。



**ご清聴ありがとうございました。**