

小型衛星の環境学研究への実証



Continuously Evolving



(c) Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory (JMRSL) 2014 <http://www2.cr.chiba-u.jp/jmrsl/>

ヨサファット テトオコ スリ スマンティヨ 教授

〒263-8522 千葉県稲毛区弥生町1-33 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

Tel. +81 (0)43 290 3840 / Fax +81 (0)43 290 3857

Email jtetukoss@faculty.chiba-u.jp Website <http://www2.cr.chiba-u.jp/jmrsl>



Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

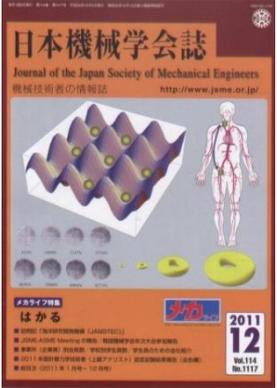
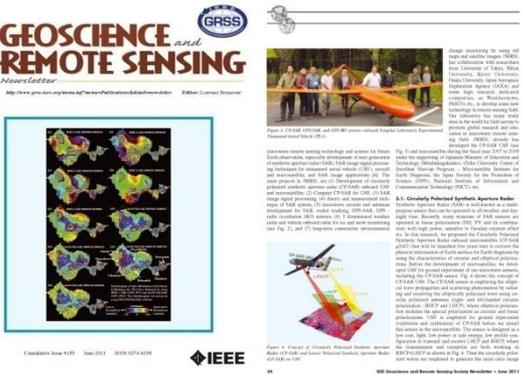
CEReS
Center for Environmental Remote Sensing
Chiba University



発表内容

- 背景・目的・必要性・重要性
- 千葉大学小型衛星のロードマップ
- 千葉大学無人航空機(UAV)のロードマップ
- 画像処理とその応用

無人航空機・小型衛星・画像処理の関連記事:



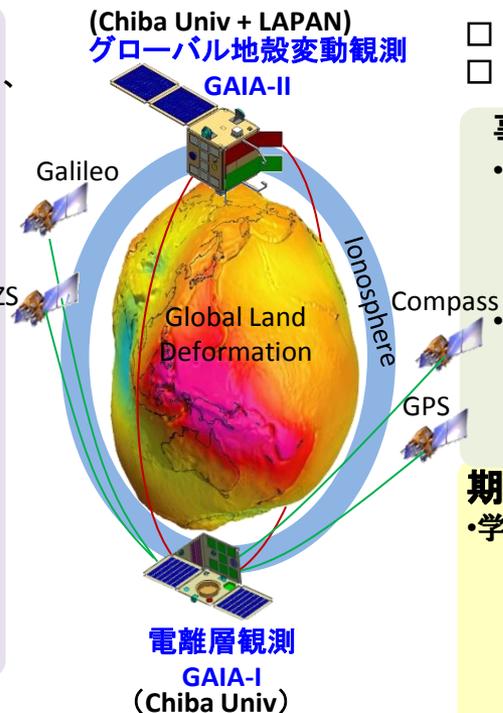
IEEE GRS Newsletter Issue June 2011



平成25年度 特別経費(プロジェクト分)－大学の特性を生かした多様な学術研究機能の充実－
融合地球環境診断研究プログラム - 小型衛星群による大陸規模地殻変動の観測-

現状の課題

- 大型衛星開発における膨大な予算、複雑さ、長期間など
 → 小型、軽量、安価、短期間開発の小型衛星の実現
- 小型衛星用の合成開口レーダ(SAR)の開発挑戦
 → 世界初のSAR搭載小型衛星の実現
- 災害と人工衛星ミッションのミスマッチ
 → タイムリーな小型衛星ミッション
- 大型衛星に搭載GNSS受信機の依存
 → 安価かつタイムリーな小型衛星
- 地上GNSS受信ネットワークによる局所観測
 → 小型衛星による広域観測の実現
- 大型衛星による単独観測
 → 小型衛星群による共同観測で、時間分解能の拡大



- 事業計画期間:平成25年度～平成28年度(4年間)
- PI: Josaphat Tetuko Sri Sumantyo

事業概要

- 千葉大学環境リモートセンシング研究センター(CEReS)が広域・低解像度の大気物理情報・地殻変動メカニズムの観測用のGNSS-ROセンサ搭載小型衛星(GAIA-I: 50kgクラス)を開発する。
- インドネシア宇宙航空局(LAPAN)との共同により、局所・高解像度の大気物理情報・地殻変動メカニズムの観測用の円偏波合成開口レーダ(CP-SAR)搭載の小型衛星(GAIA-II: 100kgクラス)を開発する。

期待される効果

・学問的効果

1) GNSS-ROセンサ搭載小型衛星(GAIA-I):

- ・ グローバル地殻変動と電離層の電子密度変化の観測
- ・ 大気における気温・水蒸気量、海上風、津波・海面高度、地球重力場測定など
- ・ 大地震の発生前のメカニズムの情報を広範囲・低解像度に蓄積可能、グローバル大地震の観測

2) CP-SAR搭載小型衛星(GAIA-II):

- ・ 既存の直線偏波SARより精密な情報の収集
- ・ 局所・高解像度地殻変動の観測

・社会的効果

- ・ 小型衛星群による災害軽減
- ・ 共同利用共同研究拠点として取得情報の提供
- ・ 災害軽減と安全安心な社会の実現

・改善効果

- ・ 環境リモートセンシング分野における教育と研究の高度化の推進
- ・ 各機関の特長を集結させ、高度技術(小型衛星、無人航空機など)で、環境リモートセンシング分野のリード

既開発した技術

- ・ 実証実験用大型無人航空機
- ・ SAR画像信号処理
- ・ アンテナ設計開発
- ・ SARシステムの設計開発
- ・ SARシステム測定法(室内・外野実験)
- ・ ポラリメトリSAR技術
- ・ インタフェロメトリSAR技術
- ・ SAR応用
- ・ GNSS-RO技術
- ・ 高速データ通信システム
- ・ GNSS-RO応用 等



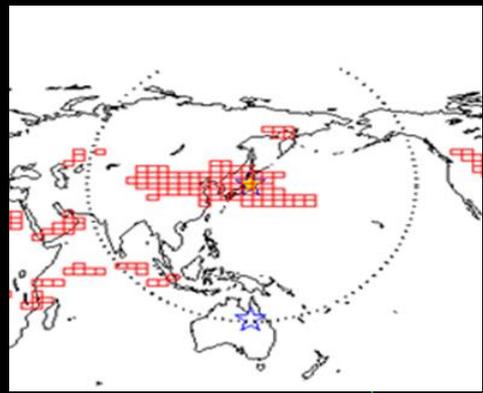
研究上の課題

- ・ 小型衛星用合成開口レーダ(SAR)システムの実現
- ・ 構造系
- ・ SAR画像信号処理
- ・ 最適なアンテナの検討
- ・ 宇宙環境調査
- ・ 高速データ通信システム
- ・ テレメトリ・データハンドリング
- ・ 地上システム(振動、熱など)
- ・ CP-SAR・GNSS-ROの実証実験
- ・ 応用開発
- ・ 人材育成 等

GAIA-IとGAIA-II小型衛星の特徴を生かした観測方法

GNSS-ROセンサ搭載小型衛星 (GAIA-I) :

- GNSS-ROセンサで、**地殻変動観測の間接的な観測**
- グローバル地殻変動と電離層の電子密度変化
- 大気における気温・水蒸気量、海上風、津波・海面高度、地球重力場測定など
- 大地震の発生前のメカニズムの情報を**広範囲・低解像度**に蓄積可能、**グローバル大地震の観測**



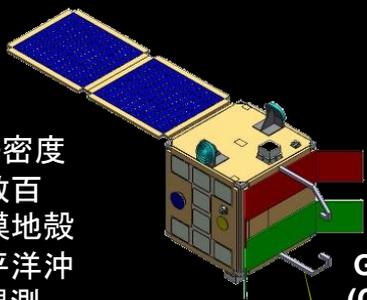
左図:
GNSS-ROで、電子密度変化分布(解像度数百km)による大陸規模地殻変動(東北地方太平洋沖地震)の間接的に観測

CP-SAR搭載小型衛星 (GAIA-II) :

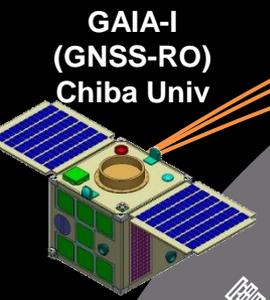
- CP-SARセンサで**地殻変動の直接的に観測**
- **局所・高解像度地殻変動の観測**
- 精密な地殻変動情報の収集



上図:
SARセンサによる東京駅周辺の微小地殻変動(解像度数m、建物単位)



GAIA-II (CP-SAR)
Chiba Univ + Lapan



GAIA-I (GNSS-RO)
Chiba Univ



Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

CEReS
Center for Environmental Remote Sensing
Chiba University



千葉大学小型衛星のロードマップ

Basic Research

2013-2017 LAPAN-Chibasat (360 Millions Yen + LAPAN 400 Millions Yen)



Chiba University COE Start-up Program, MEXT Special Project etc.



Chiba University - LAPAN - Chibasat (LAPAN-A5 / GAIA-II) L Band SR; **Polar**, 100 Kg

Advanced Research

Chiba University - Ajou University, Korea NSPO, Taiwan, **Polar**, 100 Kg

Chiba University - LAPAN **Equatorial**, 100 Kg

(EP-SAR & CP-SAR: Patent Pending: 2014-214905)

NSPO, **iQPS** Chiba Univ., Kyoto Univ., JAXA, Taiwan - NCU, **Polar**, 50 Kg GPS-RO onboard Microsatellite

GAIA-I

Josaphat Laboratory Ground Experimental Synthetic Aperture Radar onboard Unmanned Aerial Vehicle (JX Series)

GAIA-II

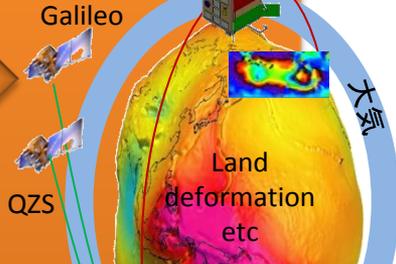
Operation / Missions

Chiba University - Seoul University, Korea **Planetary**, 100 Kg

Chiba University - Lapan, Malaysia **Equatorial**, 100 Kg

Chiba University Charter: Always Aim Higher

(Chiba University + LAPAN) **グローバル地殻変動観測 GAIA-II**



電離層観測 GAIA-I (Chiba University)

L Band SAR

C/X Band SAR

mmW Band SAR

Multiband SAR Mission

2010-2015

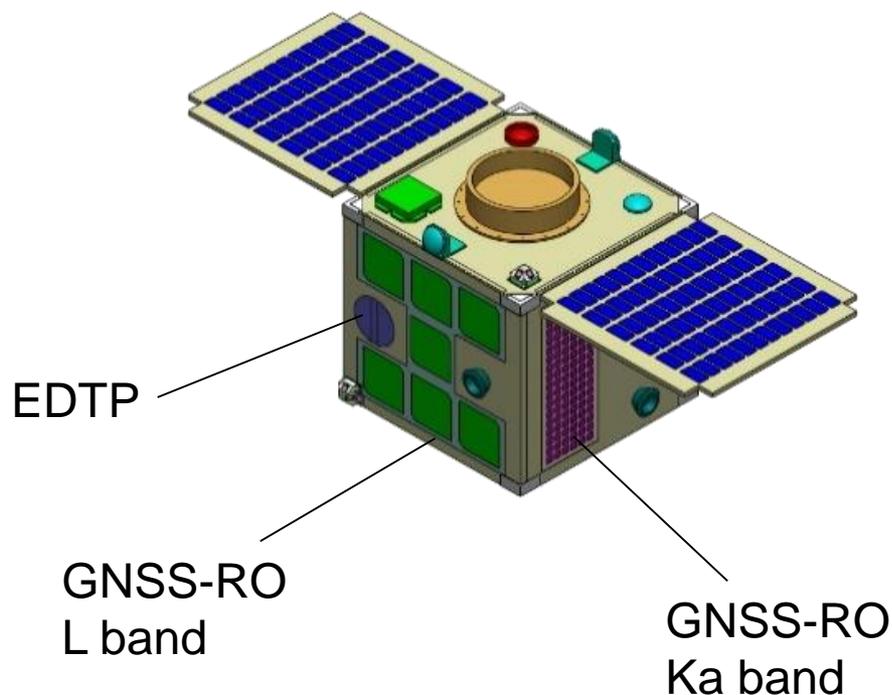
2016-2020

2021-2025

2026-2030

2031-2035

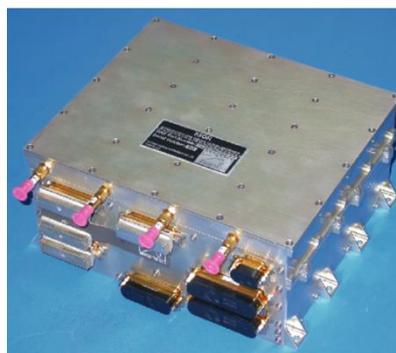
GAIA-I 小型衛星: 宇宙用デバイスの開発



ISAS JAXAの真空チャンバー内で実験



GAIAシリーズ用のオンボード計算機(OBC)



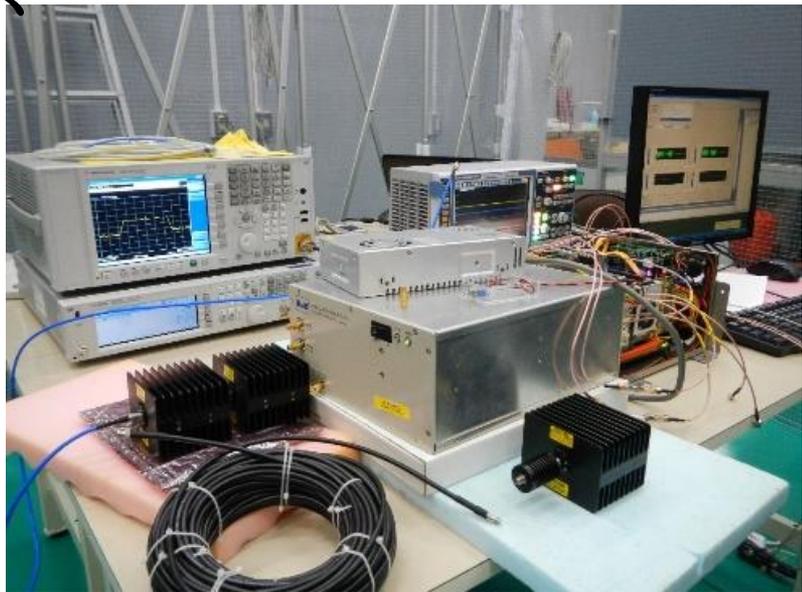
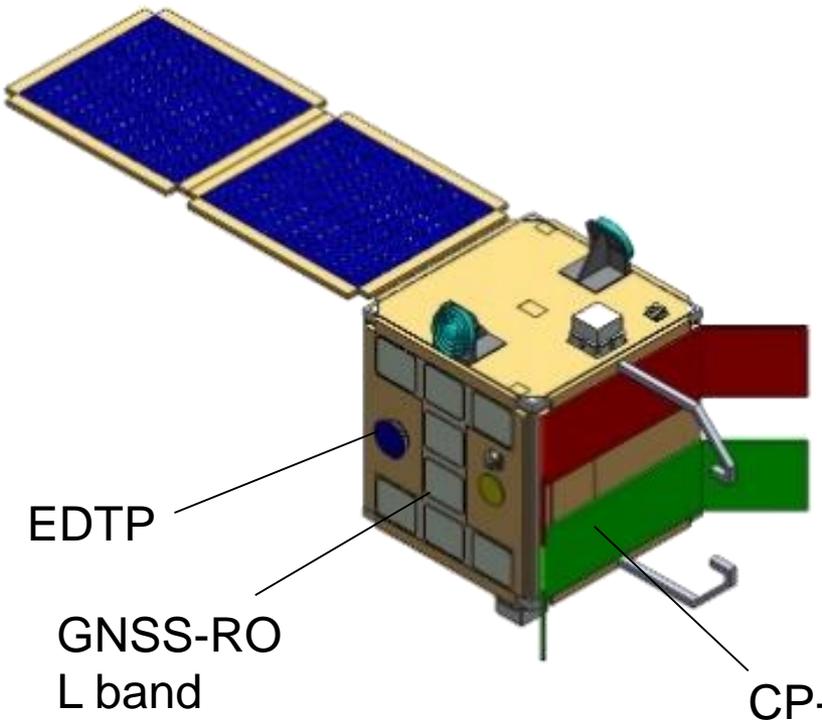
GNSS掩蔽センサ (GNSS-RO)
(MOOG社)



電子密度、電子温度プローブ(EDTP)



GAIA-II小型衛星の開発: デバイス

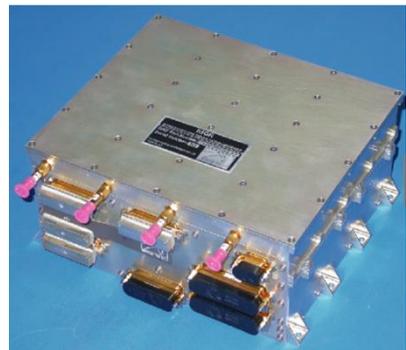


円偏波合成開口レーダ (CP-SAR)

(EP-SAR & CP-SAR : Patent Pending : 2014-214905)



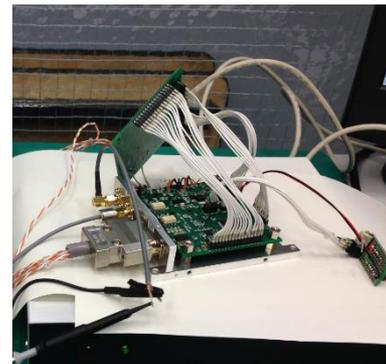
Onboard Computer (OBC) for GAIA Series



GNSS-Radio Occultation (GNSS-RO)

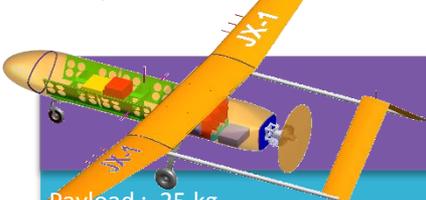


電子密度電子温度プローブ (EDTP)



千葉大学無人航空機ロードマップ

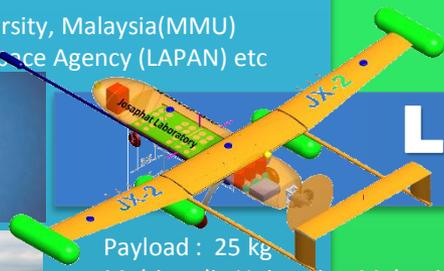
Research and Human Resources Development on **Fixed Wing**
Large Scale Unmanned Aerial Vehicle (UAV)



Large UAV JX-1

Long range & wide coverage

Payload : 25 kg
Multimedia University, Malaysia(MMU)
Indonesian Aerospace Agency (LAPAN) etc



Large UAV JX-2

Long range & wide coverage

Payload : 25 kg
Multimedia University, Malaysia(MMU)
Indonesian Aerospace Agency (LAPAN) etc



Development of Josaphat Laboratory
Ground Experimental Large Scale
Unmanned Aerial Vehicle (UAV) JX Series



Mini UAV JX-3

Medium range & coverage

Payload : 10 kg
Multimedia University, Malaysia(MMU)
Indonesian Aerospace Agency (LAPAN) etc



Small UAV JX-4

Short range & small coverage

Payload : 5 kg
Multimedia University, Malaysia(MMU)
Indonesian Aerospace Agency (LAPAN) etc



Development of L band UAV-SAR

Low Resolution

Medium Resolution

High Resolution

Multi Resolution

L Band SAR

C/X Band SAR

mmW Band SAR

Multiband SAR Mission

2010-2015

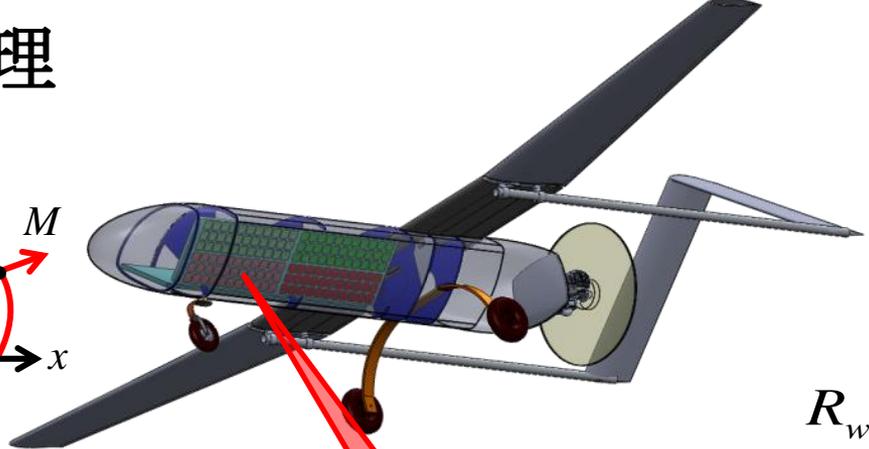
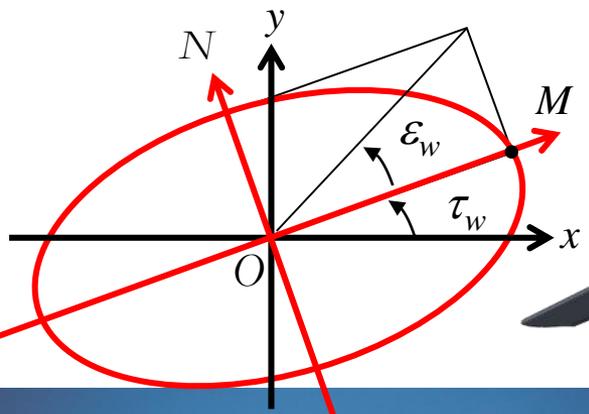
2016-2020

2021-2025

2026-2030

2031-2035

CP-SAR画像処理



(EP-SAR & CP-SAR :
Patent Pending :
2014-214905)

$$R_w = \frac{E_{R0} + E_{L0}}{E_{R0} - E_{L0}};$$

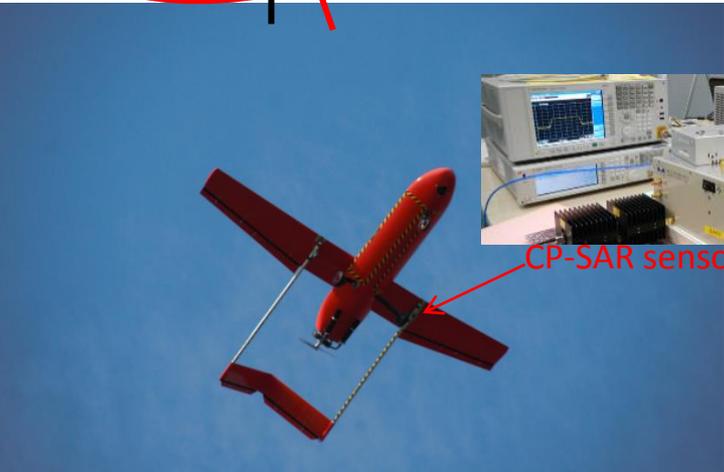
$$\epsilon_w = \cot^{-1}(-R_w), \quad -45^\circ \leq \epsilon \leq 45^\circ,$$

$$\tau_w = \frac{\delta_d}{2}, \quad 0 \leq \tau_w \leq 180^\circ;$$

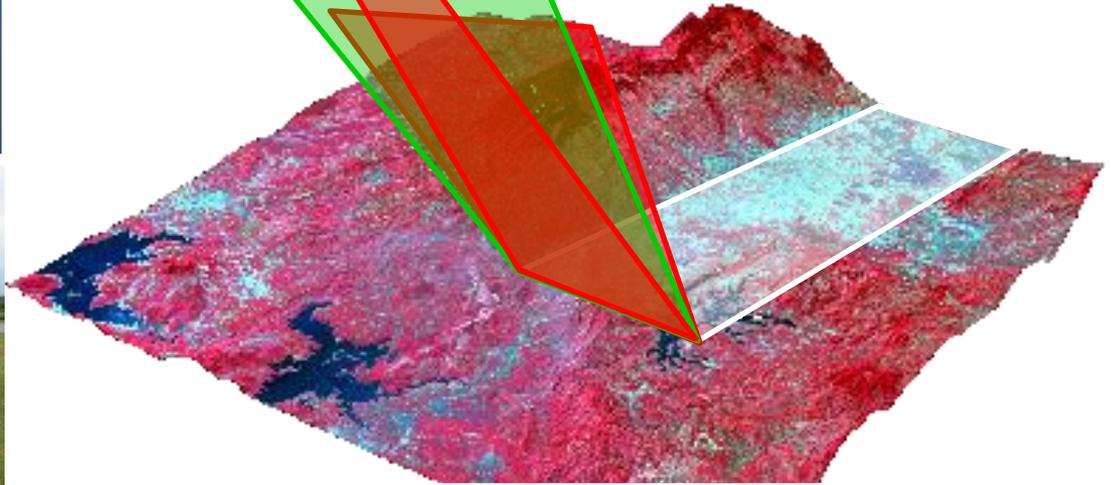
L-RHCP

L-LHCP

L-RHCP



CP-SAR sensor



After successful First Flight of Josaphat Laboratory Unmanned Aerial Vehicle (JX-1) at Fujikawa Airport on 7 June 2012



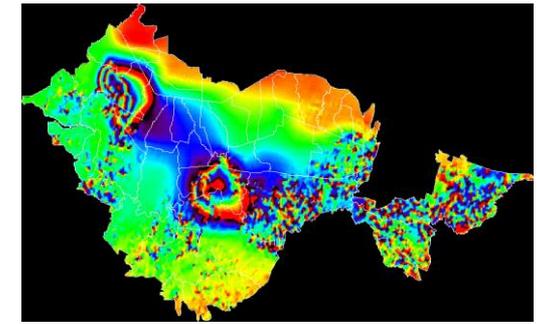
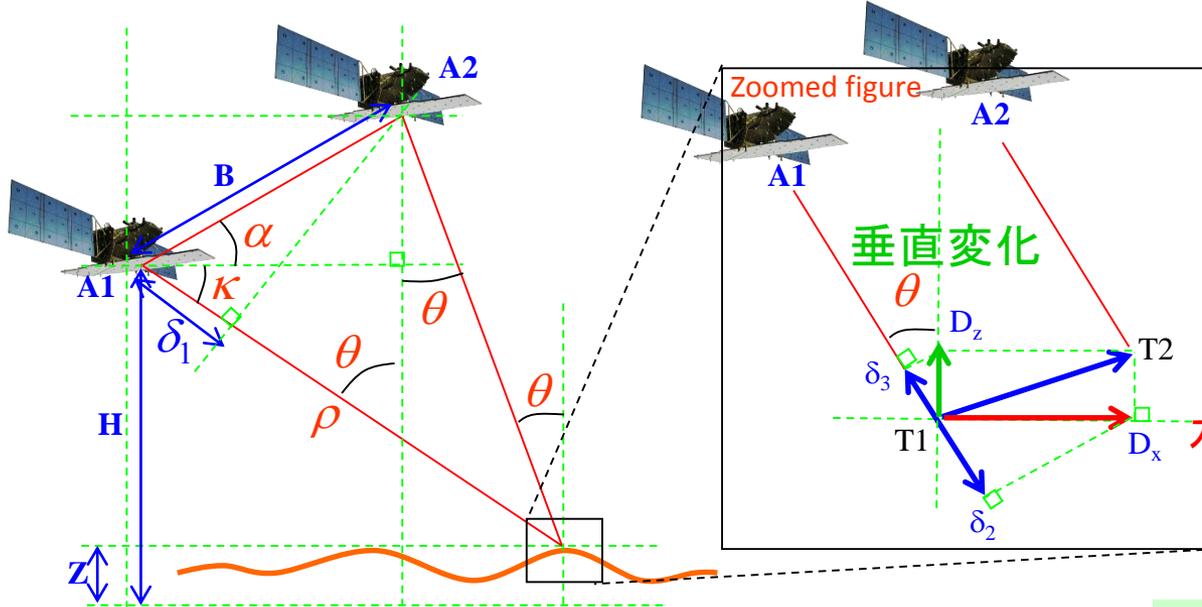
CP-SAR搭載無人航空機JX-2



ヨサファット研実証実験用大型無人航空機 (JX-2)

干涉SAR手法 (InSAR)

インタフェログラム (位相変化図)



δ : error between slant range length A1 and A2.

ϕ : phase error

水平変化

$$\kappa = \frac{\pi}{2} - \theta$$

$$\delta_1 = B \cos(\kappa + \alpha)$$

$$= B \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta + \alpha\right)$$

$$\therefore \delta_1 = B \sin(\theta - \alpha)$$

$$\phi = 2 \frac{2\pi}{\lambda} \delta$$

$$= \frac{4\pi}{\lambda} (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3)$$

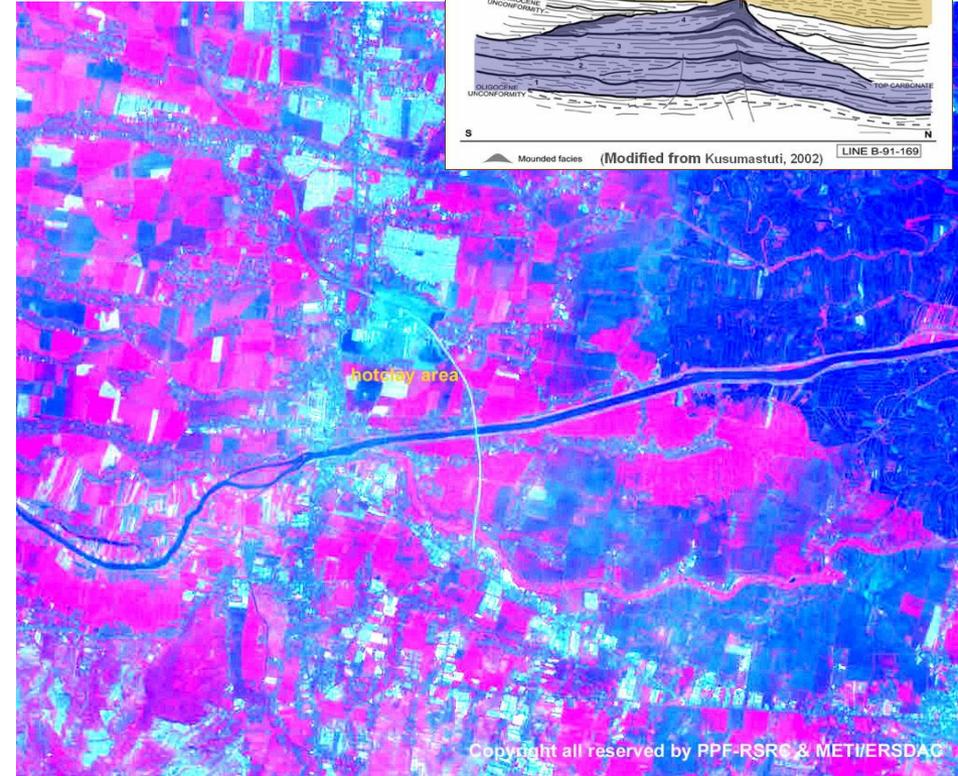
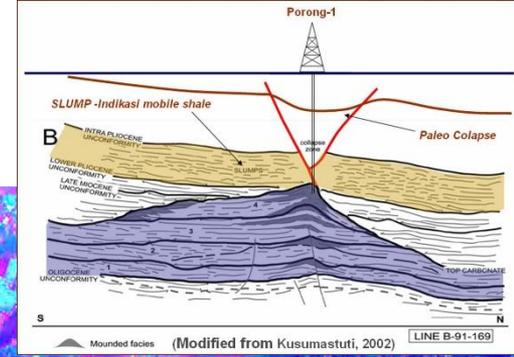
$$= \frac{4\pi}{\lambda} (B \sin(\theta - \alpha) + D_x \sin \theta - D_z \cos \theta)$$

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda} (B \sin(\theta - \alpha) + D_x \sin \theta - D_z \cos \theta)$$

$$\therefore \delta_2 = D_x \sin \theta$$

$$\therefore \delta_3 = -D_z \cos \theta$$

東部ジャワ県泥噴出事故 2006年5月29日



ASTER 040828

ASTER 060701

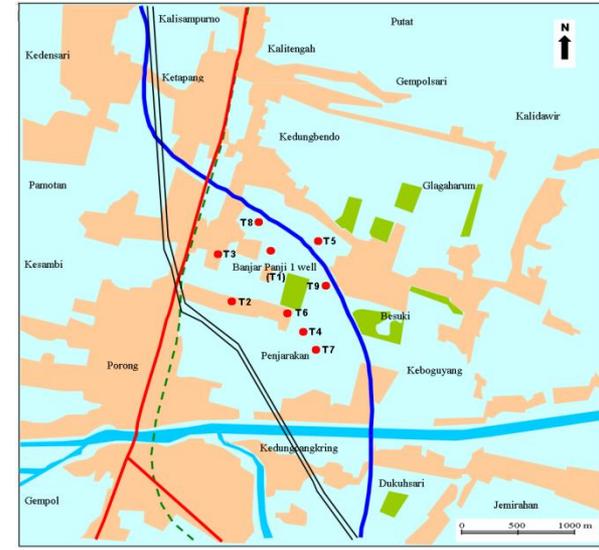
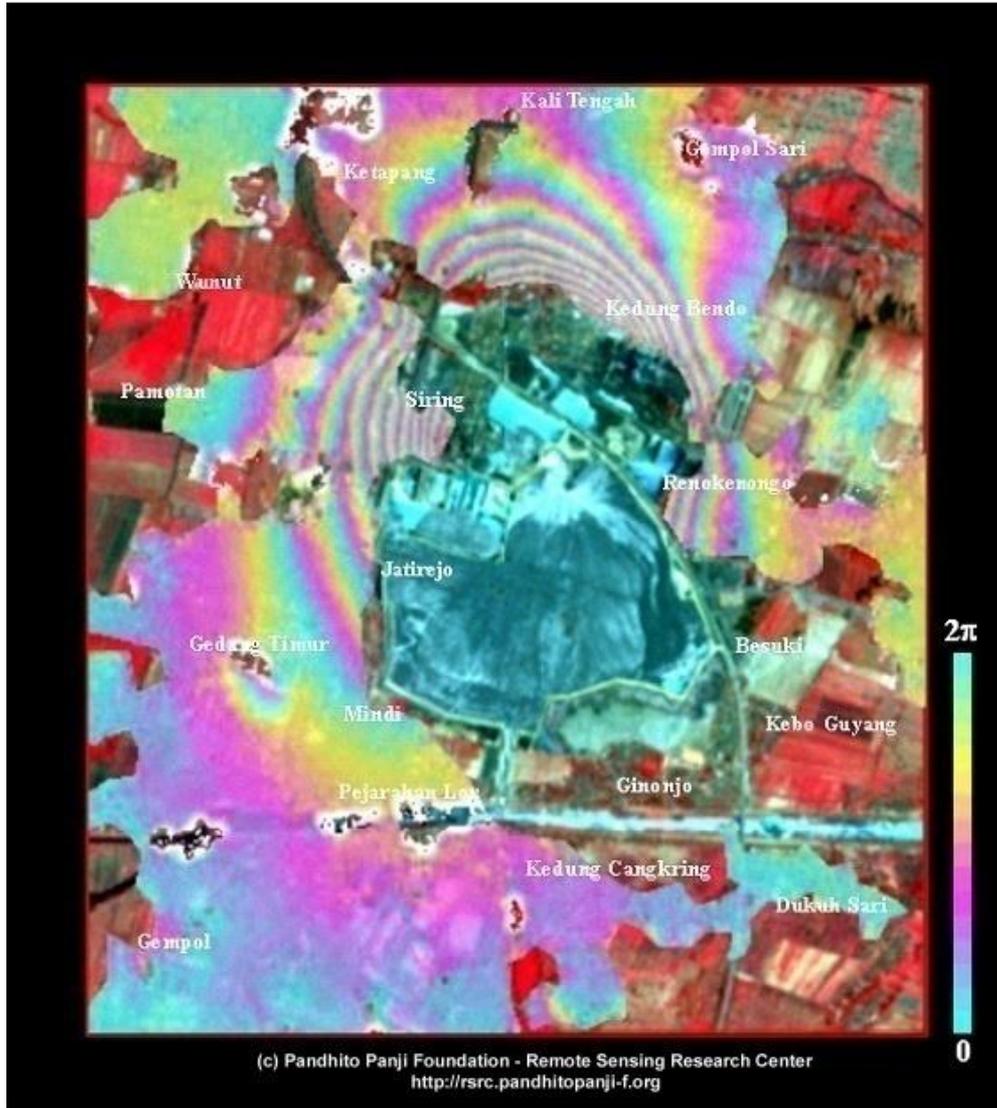


Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

CEReS
Center for Environmental Remote Sensing
Chiba University



干涉微分合成開口レーダ (DInSAR) 法



Legend	
	River
	Plantation
	Paddy Field
	Residence & Factory
	Railway
	Highway
	City Road
	High Voltage Electric Distribution

KOMPAS, SENIN, 8 JANUARI 2007

HUMANIORA

Penurunan Tanah Capai 2,4 Meter

Jepang Pantau Lumpur Sidoarjo

JAKARTA, KOMPAS – Para peneliti dari Jepang mengonfirmasi terjadinya penurunan tanah di lokasi semburan lumpur panas di Porong, Sidoarjo, Jawa Timur. Akibat beban semburan lumpur, tanah di sekitar lokasi semburan turun hingga 2,4 meter dari ketinggian semula.

Kepala Mikrowave Remote Sensing Laboratory (MRS), Universitas Chiba, Jepang, Prof Dr Joseph Zeb, Tarkis Setiawan, Sabta (6), mengatakan kepada Kompas melalui surat elektronik bahwa tim peneliti dari Center for Environmental Remote Sensing Universitas Chiba telah berhasil mengonfirmasi hasil penurunan permukaan tanah wilayah bencana lumpur panas. Data penurunan tanah itu mereka peroleh dari citra satelit Advanced Land Observing Satellite (ALOS) yang dioperasikan Pemerintah Jepang, Januari 2006. "Kami di Jepang menggunakan sensor PALMIR yang menghasilkan citra L-band synthetic aperture radar yang digunakan untuk citra ini. Sensor ini bisa menembus awan, hujan, dan asap sehingga gambar tanah sepenuhnya. Hasilnya sangat cocok untuk diperparan di wilayah tropis seperti Indonesia," kata peneliti asal Indonesia itu.

Dari citra yang dipotret pada Jumat lalu itu terlihat distribusi penurunan tanah di sekitar lokasi semburan lumpur. Kotak tanah destruksi dengan spektrum warna dari hitam laut-ungu merah muda-kuning hingga laut-khaki. Satu periode dari hitam laut-ungu merah muda-kuning hingga laut-khaki menunjukkan penurunan tanah sedemikian saja hingga gelombang dari frekuensi L-band yang dipotret pada sensor PALMIR ini, yakni 0,24 meter.

Berhubungan analisis ini, masalah yang dihadapi adalah, bagaimana mengonfirmasi penurunan permukaan tanah. Khususnya wilayah Desa Siring yang merupakan penurunan tanah terdalam, yaitu 2,4 meter. Penurunan tanah ini diperkirakan akibat beban lumpur yang ditampung dalam tangki selama insiden Jula.

Selain menggunakan citra satelit, tim dari MRS, Universitas Chiba yang dipimpin langsung Joah juga bekerja sama dengan staf Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya mengonfirmasi wilayah bencana lumpur Lapindo Sidoarjo, pada 8 November 2006, untuk mengonfirmasi data penurunan tanah, sampel lumpur, dan distribusi utama permukaan lumpur di sekitar wilayah bencana guna memantapkan hasil penelitian ini.

Sebelumnya, Tim Lembaga Affiliated Penelitian dan Industri (LAPI) ITS, September 2006 telah melakukan adanya penurunan tanah di beberapa titik seluas wilayah bencana lumpur panas ini, khususnya di Desa Kedungbendo (0,5) m, Jatirejo (0,2 m), dan Siring (0,8 m). Dalam waktu hanya tiga bulan telah terjadi penurunan tanah hingga 1,5 meter lebih.

Sensor PALMIR bekerja pada frekuensi L270 GHz (gelombang mikro, L-band) dengan panjang gelombang 0,24 m dan wilayah liputan 40 km-100 km, 6.000

Desa-desa yang Mengalami Penurunan Tanah di Kab Sidoarjo

- Kecamatan Tegayutanan
 - Desa Kalitengah 2,2 m
 - Desa Kertorejo 2,2 m
 - Desa Kalitengah 2,2 m
- Kecamatan Porong
 - Desa Siring 1,9, 2,4 m
 - Desa Siring 1,9, 2,4 m
 - Desa Siring 1,9, 2,4 m
- Kecamatan Jember
 - Desa Siring 1,9 m
 - Desa Siring 1,9 m
 - Desa Siring 1,9 m
- Kecamatan Jember
 - Desa Siring 1,9 m
 - Desa Siring 1,9 m
 - Desa Siring 1,9 m

Desa-desa yang Mengalami Penurunan Tanah di Kab Sidoarjo

Desa-desa yang mengalami penurunan tanah di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, meliputi: Kalitengah, Kertorejo, Tegayutanan, Porong, dan Jember.



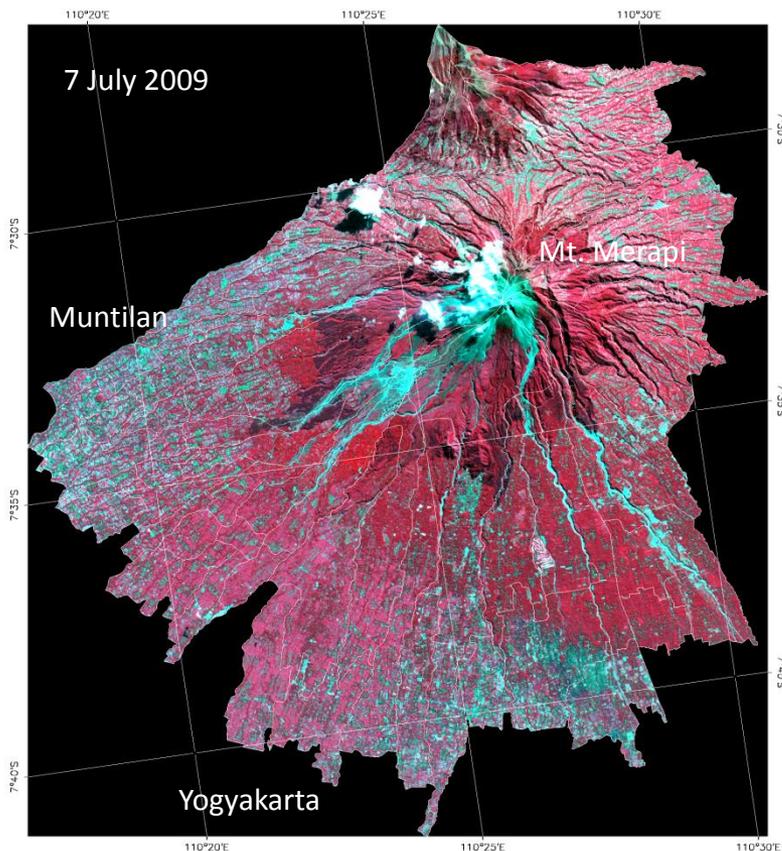
Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

CEReS
Center for Environmental Remote Sensing
Chiba University

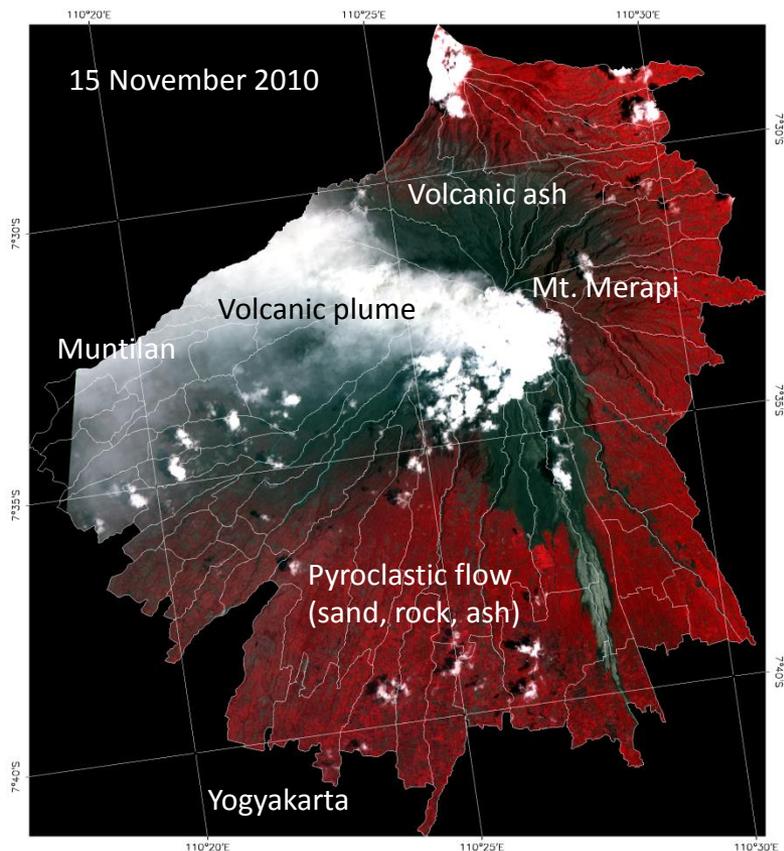


インドネシアメラピ山の噴火: ASTERデータ

対象地域: インドネシア メラピ山



噴火前



噴火後

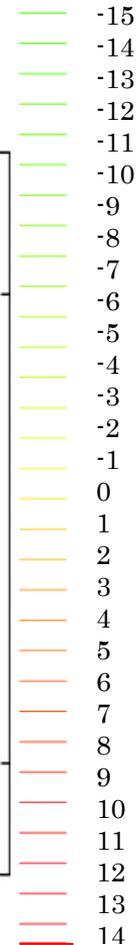
(2011年10月26日と11月5日)

微分干渉合成開口レーダ (DInSAR) : 火山噴火の噴出量

DInSAR手法による火山灰の厚さ分布

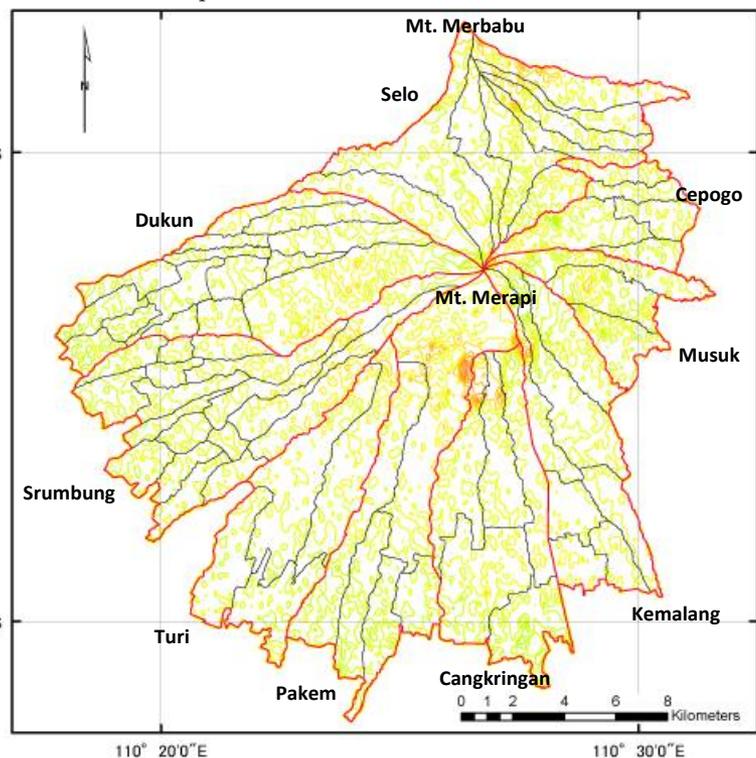
Legend

Deformation (cm)

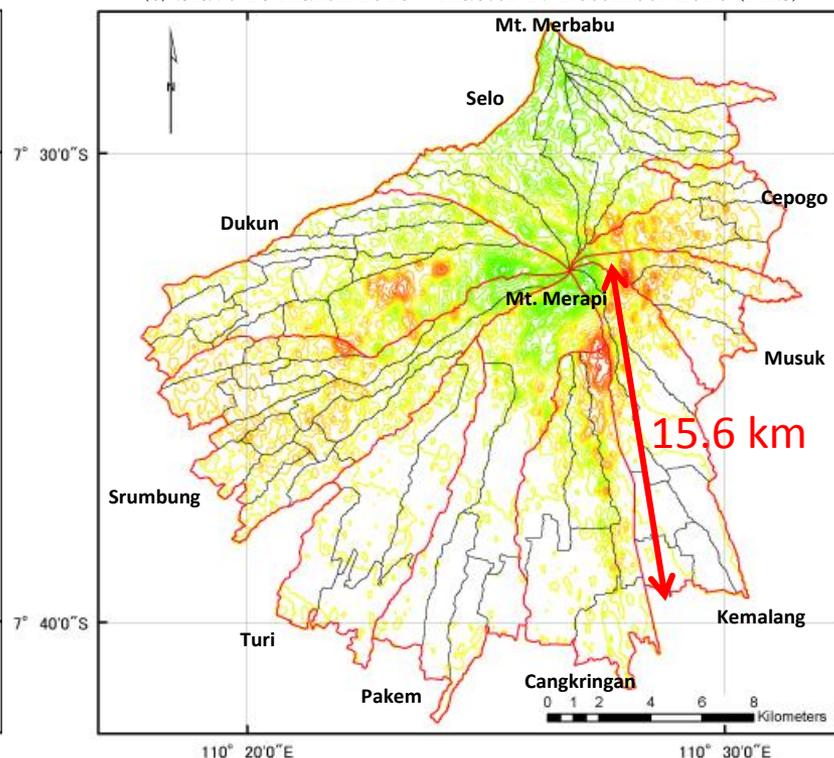


□ District boundary

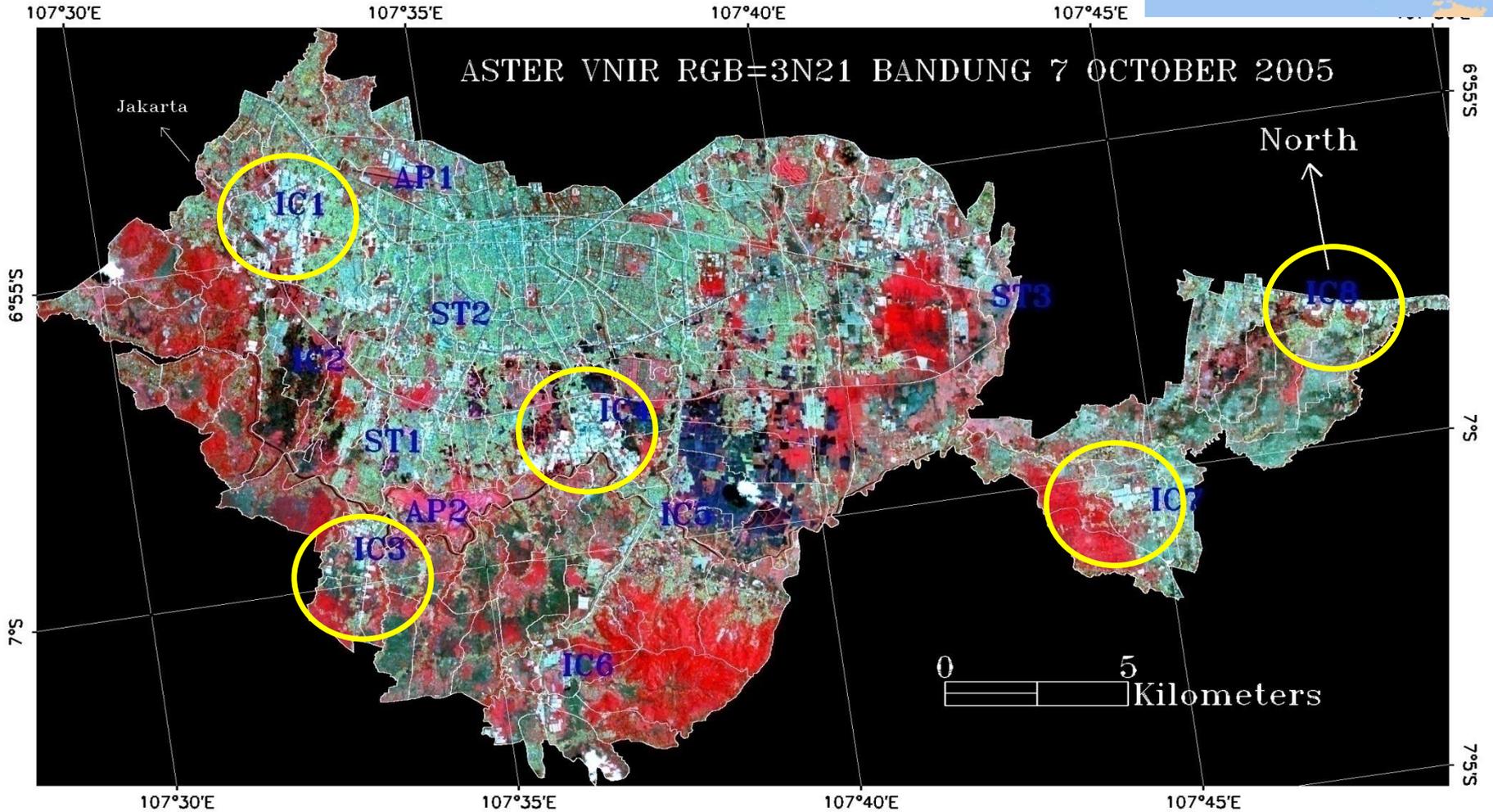
(a) Slave 16 September 2010 – Master 1 November 2010 (FBD)



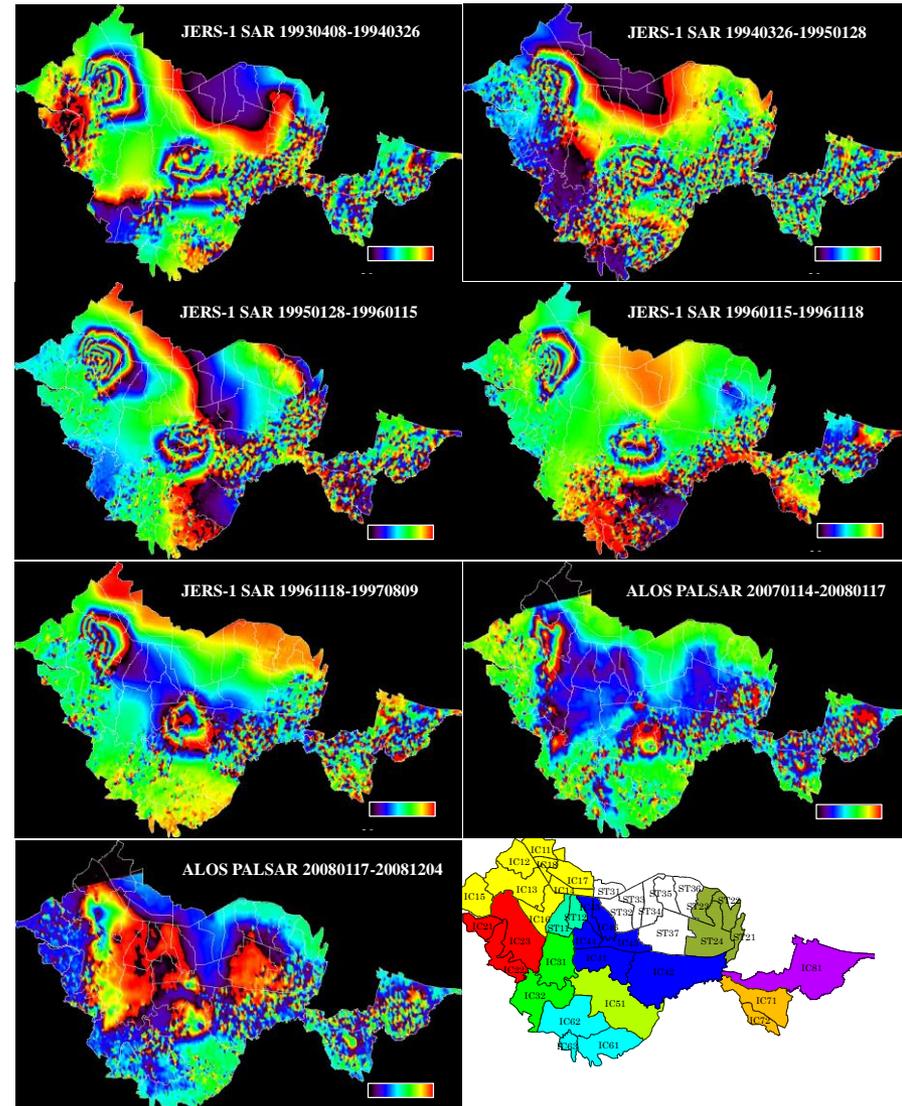
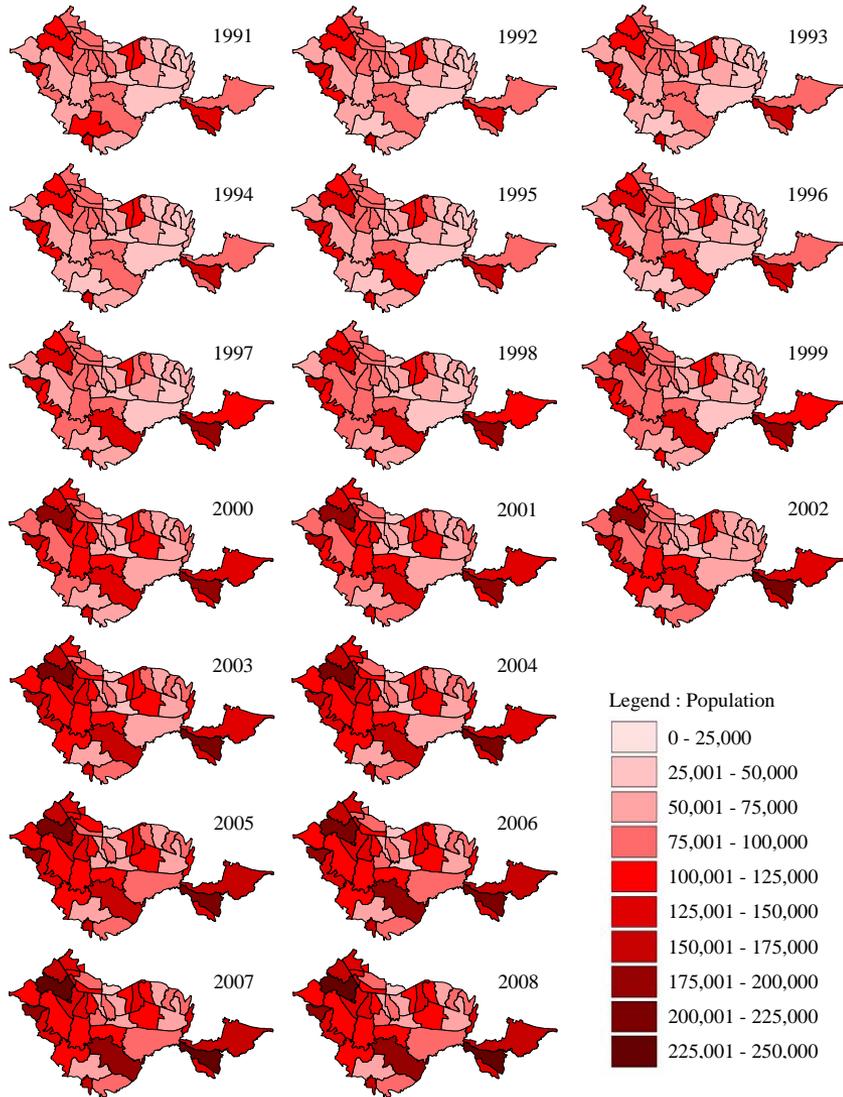
(b) Slave 16 March 2010 – Master 17 December 2010 (FBS)

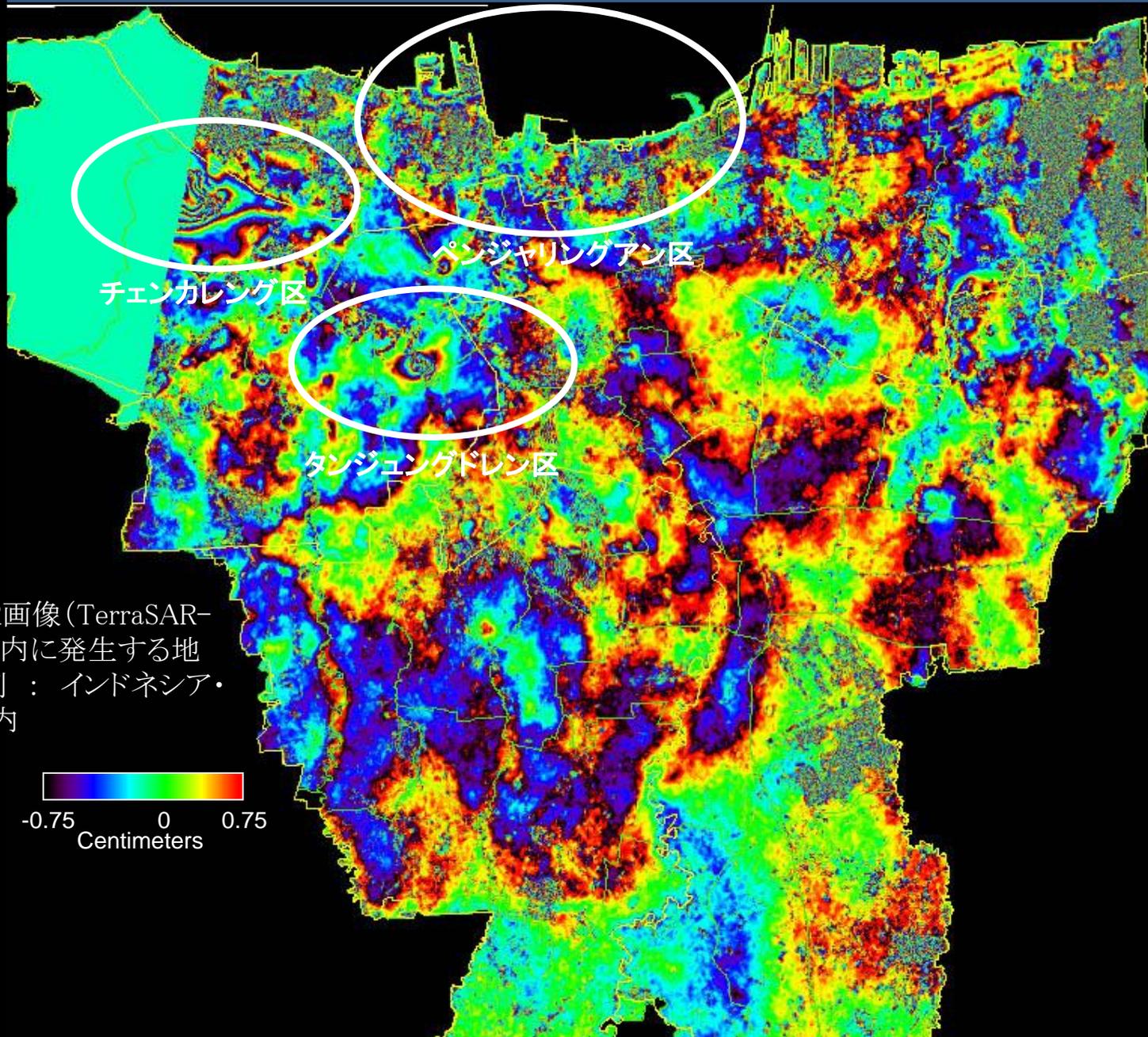


対象地域: インドネシア・バンドン市



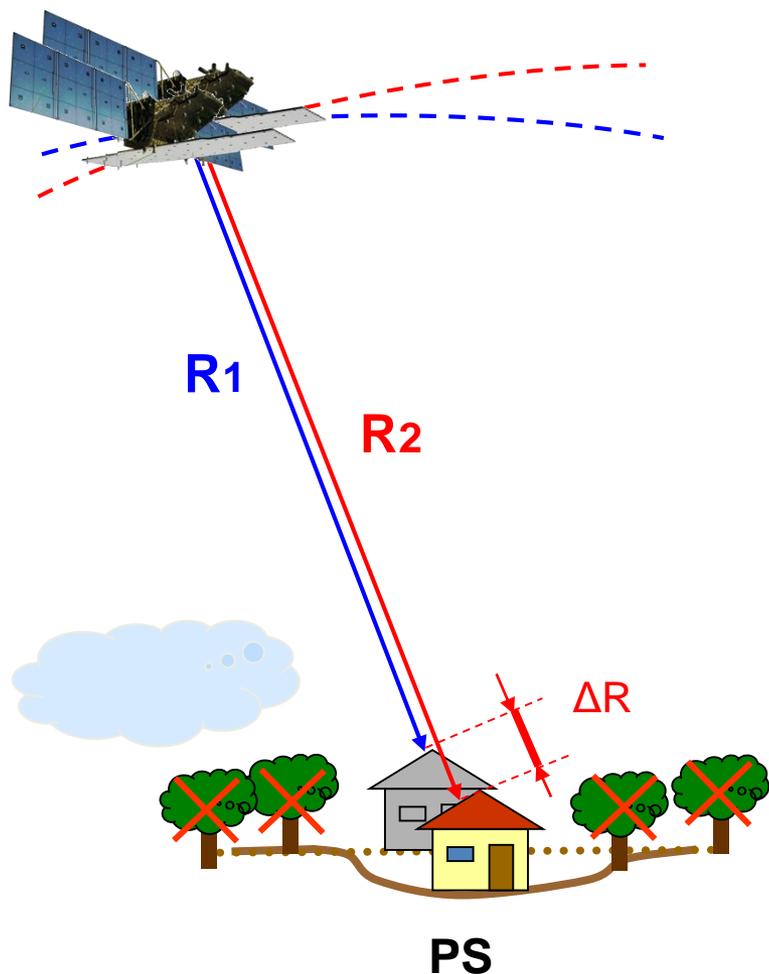
統計データ：人口密度





高解像度SAR画像 (TerraSAR-X) による都市内に発生する地盤沈下の観測 : インドネシア・ジャカルタ市内

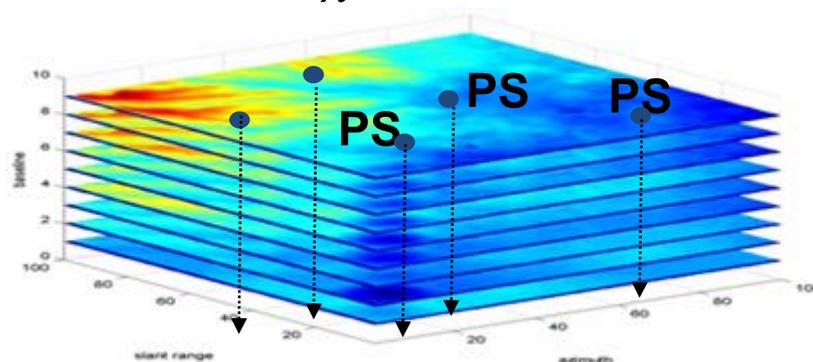
永久散乱体による干渉SAR (PS-InSAR)



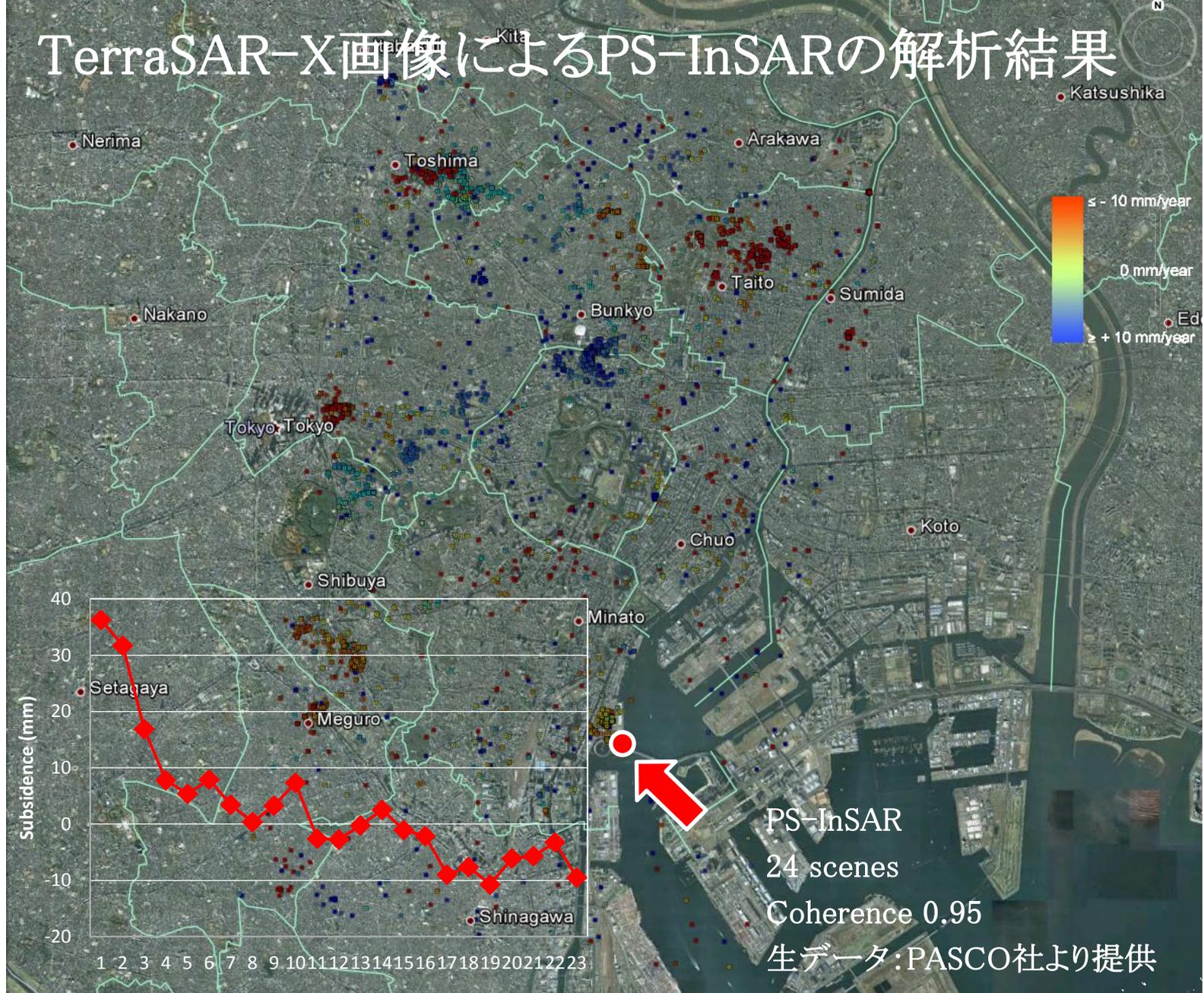
電波伝搬のノイズ:

- 季節
- 多重散乱
- 大気の影響
- 雲分布
- など

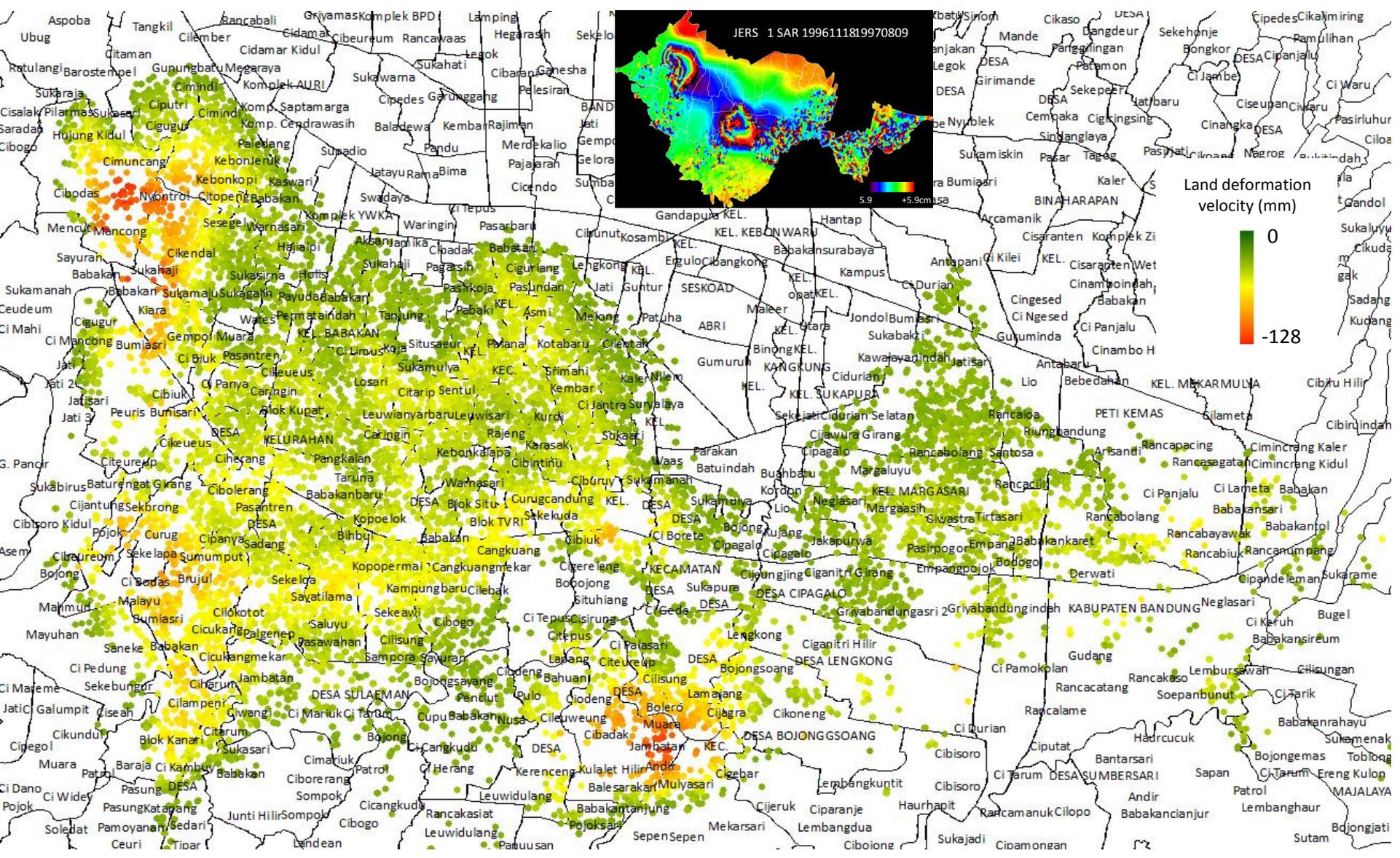
$$\phi = \Delta\psi + \frac{4\pi}{\lambda} \Delta r + \Delta\alpha + noise$$



TerraSAR-X画像によるPS-InSARの解析結果



PS-InSARによるインドネシア・バンドン市の地盤沈下の観測



PS-InSARによるJakarta Great Sea Wallと将来インパクトの調査



TANGGUL LAUT RAKSASA Teluk Jakarta Bisa Semakin Dangkal

JAKARTA, KOMPAS — Kalaupun usaha pelagaran, logistik, dan nelayan memerkakan risiko pendangkalan akibat pembangunan tanggul laut raksasa (giant sea wall) di Teluk Jakarta. Selain mengganggu arus pelayaran, pendangkalan juga dikawatirkan memperpendek usia jembatan, terutama Pelabuhan Tanjung Priuk dan Sunda Kelapa.

Ketua Asosiasi Logistik Indonesia Zaky Itham Manis, Selasa (4/11), mengatakan, pelaka usaha pelayaran dan pengguna jasa logistik khawatir perairan di sekitar Pelabuhan Tanjung Priuk kian dangkal. Kondisi itu berpotensi mengganggu lalu lintas kapal.

Ketua Himpunan Nelayan Seluruh Indonesia DKI Jakarta Yan Winda Sumarta mencerminkan kekhawatiran serupa. Aktivitas nelayan kapal pencari ikan yang mulai masuk di kawasan Teluk Jakarta tiap hari dipantulkan terganggu atau bahkan musti jika perairan dangkal untuk pembangunan pulau pulau reklamasi, dangkal karena sedimentasi pasir, atau batuan tanggul.



Warga melintas di antara dinding tabung raksasa yang dipasang sebagai bagian proyek pembangunan tanggul laut raksasa (giant sea wall) tipe A di Jakarta Utara, Selasa (4/11). Untuk pembangunan tanggul raksasa tipe B, Pemprov DKI masih menunggu kajian amdal untuk pengembangannya.

Selain sedimen, 13 sungai juga membawa limbah dari hulu dan sepanjang daerah aliran sungai.

huluhan lain dalam Jakarta.

"Dapat diperkirakan pelabuhan laut dalam hanya dapat berfungsi karena dari 20 tahun saja jika tidak diikuti dengan pembangunan jaringan peratan dari wilayah Jawa Barat," ujar Josaphat.

Depati Direktur Bidang Eksternal Widana Lingkungan Hidup Indonesia DKI Jakarta Zaidi Mutiagraha menambahkan, selain sedimen, 13 sungai juga membawa limbah dari hulu dan sepanjang daerah aliran sungai. Belum lagi limbah dari perusahaan-perusahaan di pesisir utara.

Belum dipertimbangkan

Sementara pihak lingkungan sosialitas terkait rencana pembangunan tanggul laut raksasa itu, Wali Kota Jakarta Utara Heru Budi Hartono pekan lalu mengatakan, sosialisasi ke warga dan pelaku usaha di pesisir utara sebagai pihak yang terdampak langsung relatif lemah. Keluhan usaha pelayaran dan pengguna jasa pelabuhan juga belum terdapat penjelasan juga belum terdapat penjelasan soal proyek itu.

Pemencinta Provinsi DKI Jakarta

Belum dipertimbangkan akibat sedimentasi di Teluk Jakarta itu nyata.

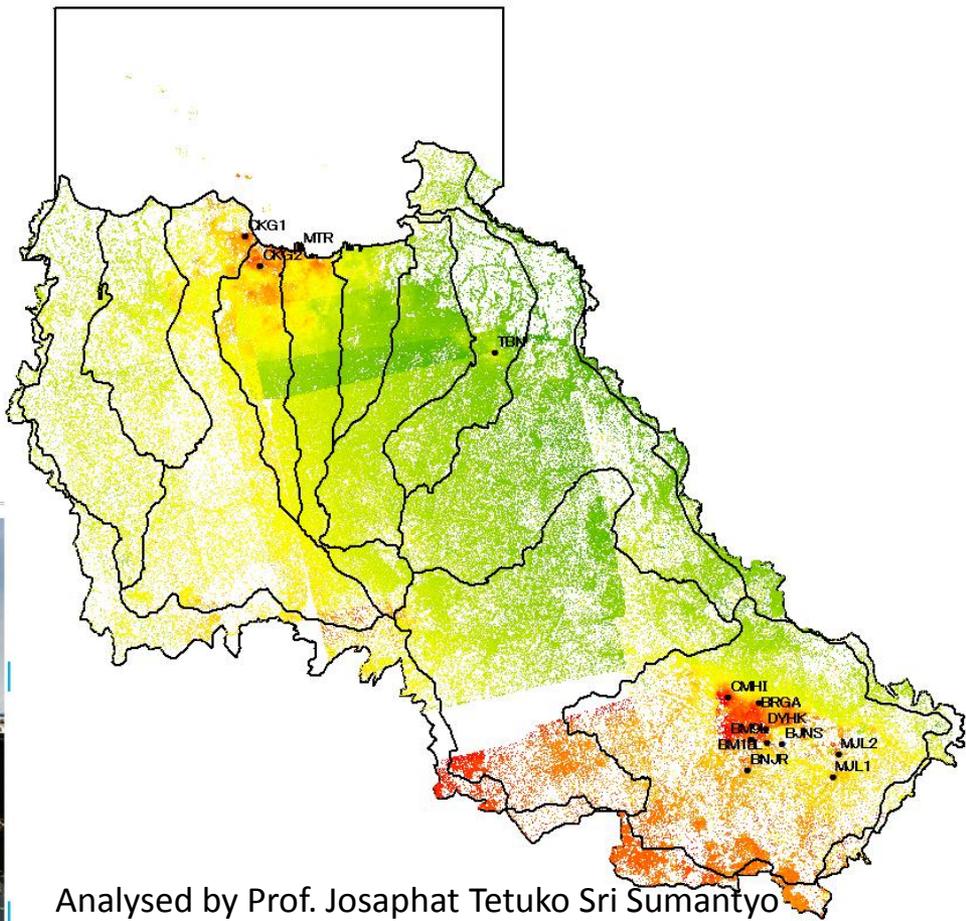
Berdasarkan penelitian mandiri yang dia lakukan dengan menggunakan pengamatan radar dan radar, Josaphat mengatakan, jika perendapan di muara Sungai Citarum dan Citarung mencapai 18-40 meter dan garis pantai pecahan. Padahal, muara kedua sungai itu mengarah ke kawasan zona ekonomi dan pe-

nyah hal yang harus dijawab kajian itu, seperti nasib ribuan nelayan di sekitar tanggul laut dan penggolongan air dari tanggul sungai yang bermuara di laut sekitar tanggul.

Moeki masih ragu-ragu dengan belanjutan tanggul laut raksasa tipe B. Beliau mengatakan perluanya belanjutan tanggul laut tipe A. Proyek ini dilakukan untuk memperbaiki tanggul laut yang sudah ada di pantai utara Jakarta untuk mencegah rob.

Ahli Biologi Universitas Indonesia, Pritasa Al, berpendapat dengan Basuki. Menurut dia, lebih baik konsentrasi memper-

baik tanggul tipe A yang tak bisa ditawar-tawar lagi. Selain dengan pembangunan itu, pemerintah melibatkan perencana di darat dan hulu.

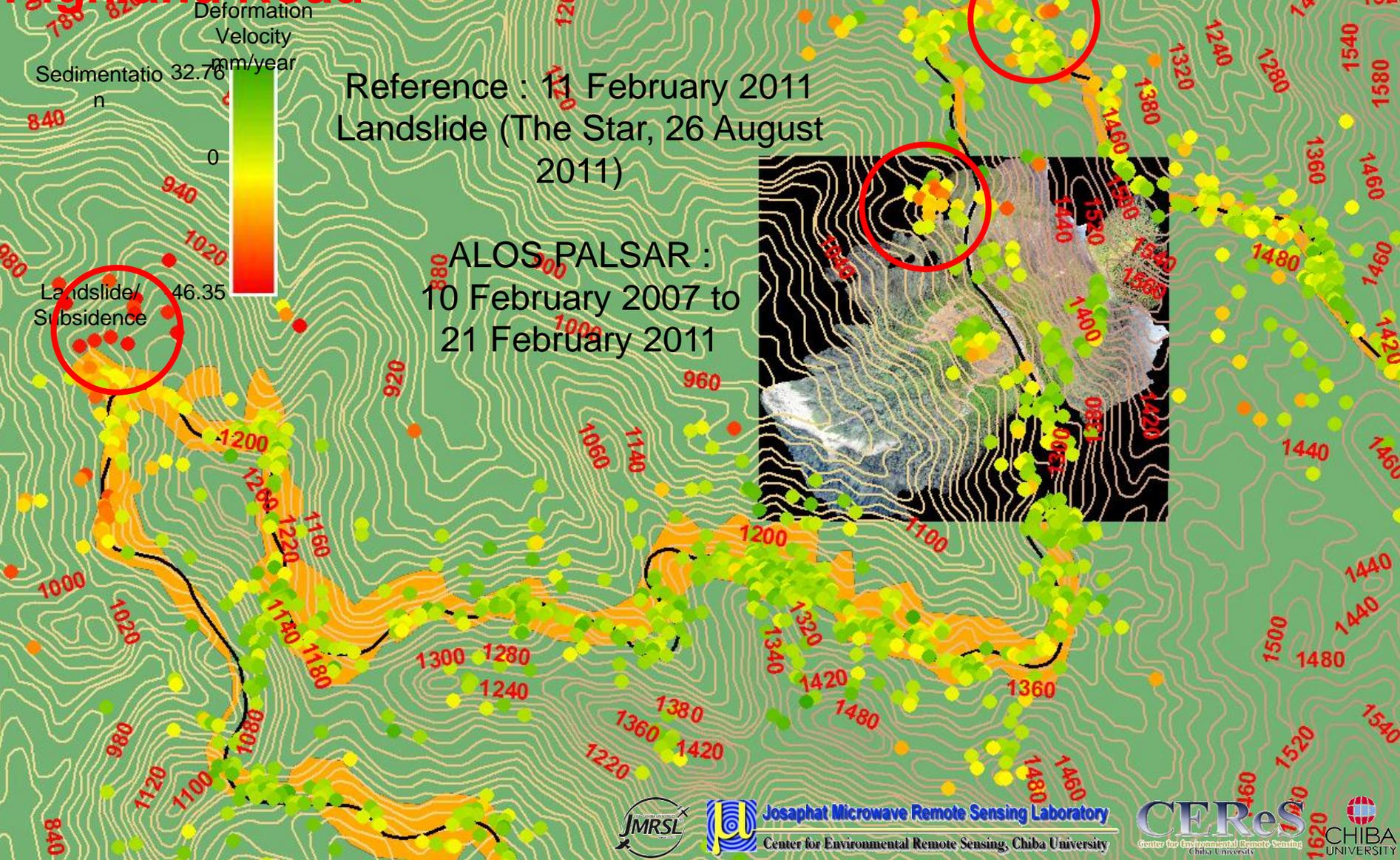


Analysed by Prof. Josaphat Tetuko Sri Sumantyo
 JMRS L CEReS Chiba University
 ALOS PALSAR Data : 96 Scenes
 PS-InSAR method
 Acknowledgement : JAXA

Kompas Newspaper, 5 November 2014



Study Site : Landslide at Simpang Pulai - Cameron Highland Road



Structure from Motion (SfM)



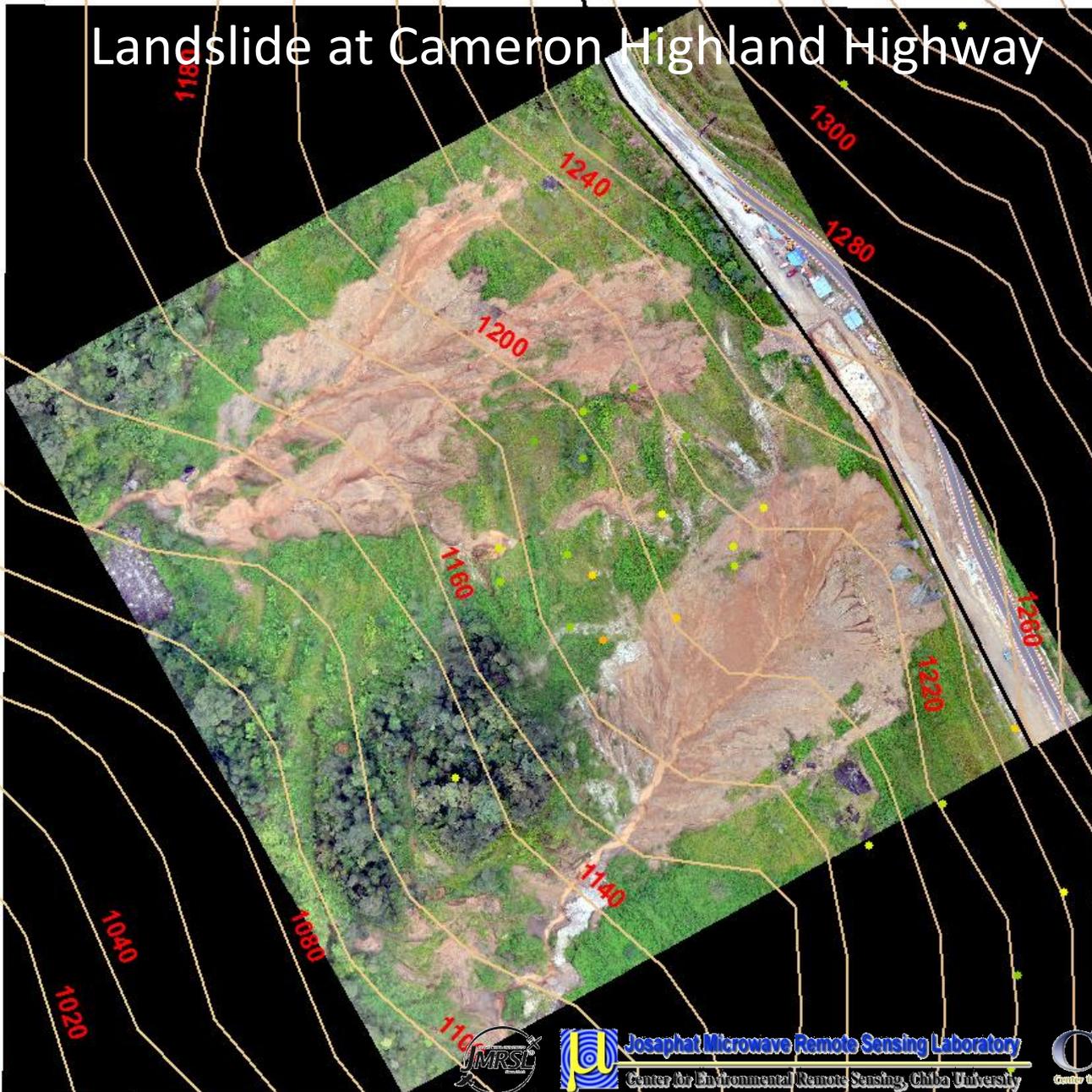
Ground Survey : 20 September
2014



Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University



Landslide at Cameron Highland Highway



Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

CERES
Center for Environmental Remote Sensing
Chiba University





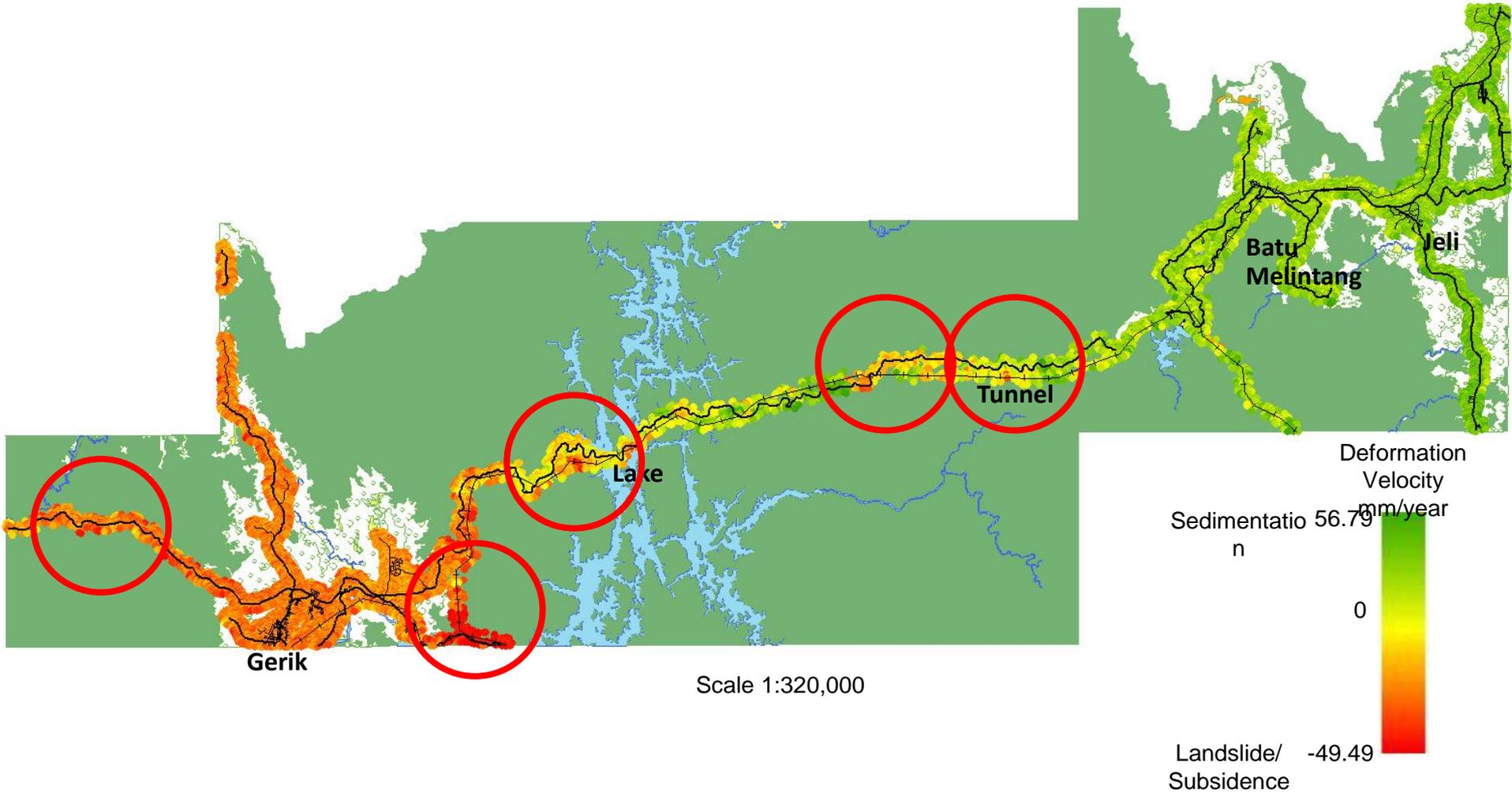
リモートセンシング技術によるマレー半島における土砂崩れの観測: Cameroon Highland



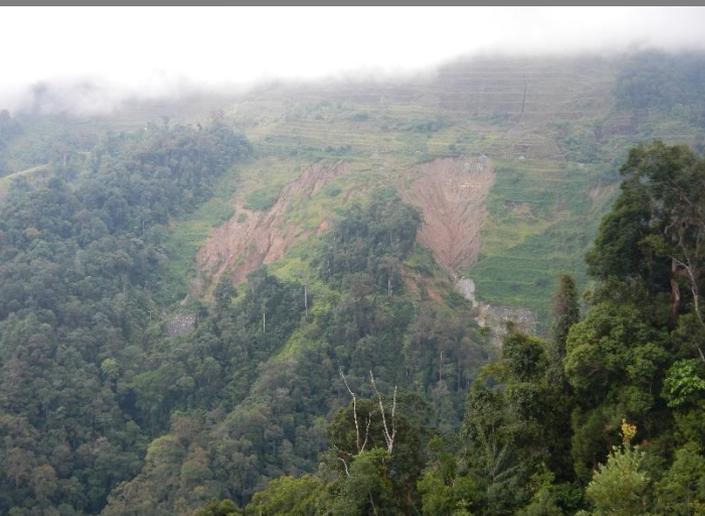
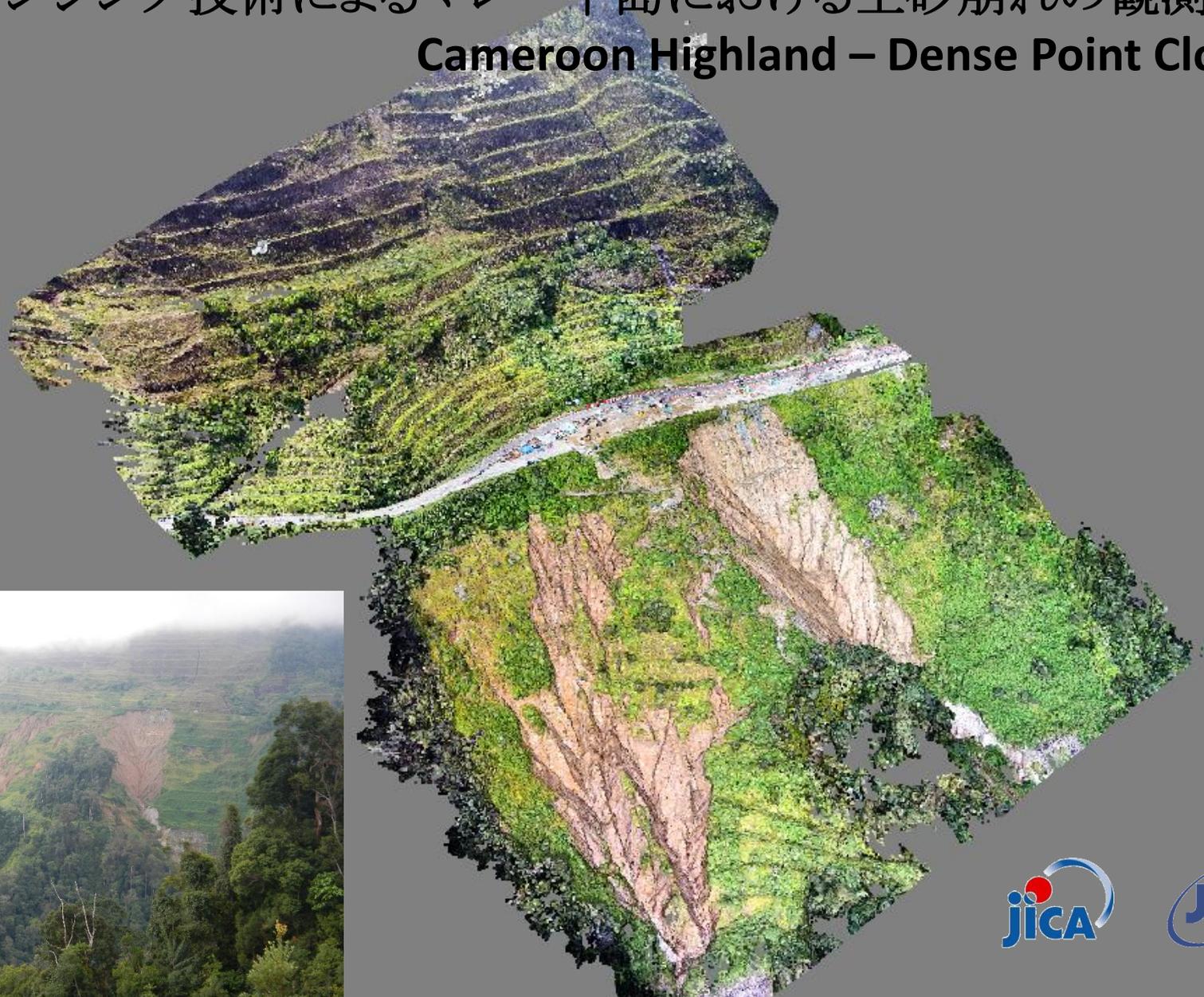
Cameroon Highland ground campaign with Malaysian Government JGR, Universiti Sains Malaysia, and JICA on 20 September 2014



Land Deformation along East West Highway + Electricity Transmission Line



リモートセンシング技術によるマレー半島における土砂崩れの観測: Cameroon Highland – Dense Point Cloud



Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

CEReS
Center for Environmental Remote Sensing
Chiba University



ご清聴ありがとうございました。



ヨサファット テトオコ スリ スマンティヨ 教授
〒263-8522 千葉県稲毛区弥生町1-33
千葉大学環境リモートセンシング研究センター
Tel. +81 (0)43 290 3840 / Fax +81 (0)43 290 3857
Email jtetukoss@faculty.chiba-u.jp
Website <http://www2.cr.chiba-u.jp/jmrs>

Facebook “+Follow or Like”をクリックして、ヨサファット研の活動をフォロー



Fujikawa Airfield, 29 August 2013 UTC 06:09:54.521

