

フィリピン共和国の地熱・火山モニタリング

Mak-Ban地熱とTaal火山の地表変化検出

Geothermal and Volcano Monitoring in Philippines

*Deformation of Mak-Ban geothermal area and Taal Volcano
detected by JERS-1/SAR Interferometry*

(財) 資源・環境観測解析センター

Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC)

出口 知敬

Tomonori Deguchi

deguchi@ersdac.or.jp

フィリピン共和国の地熱発電所



地熱発電所運転状況

	運転開始	設備容量 (MW)	認可出力	温度 (°C)	蒸気条件 圧力 (kg/cm ³)	流量 (t/h)	運転状況 最大電力 (MW)	Path/Row
Mak-Ban(Laguna)								
Plant A	1979.7	110.0	55.0×2	162.3	6.68	440	100.5	
Plant B	1980.6	110.0	55.0×2	162.3	6.68	440	105.0	
Plant C	1984.9	110.0	55.0×2	162.3	6.68	437	94.9	
Mak-Ban(Binary)								
Binary A	1994.6	6.0	3×2				15.7	89/277
Binary B	1994.6	6.0	3×2				15.7	
Binary C	1994.6	3.73	3×1, 0.73×1				15.7	
Mak-Ban(Modular)								
Plant D	1995.8	40.0	20.0×2	179.4	7.03	340.3	31.2	
Plant E	1995.8	40.0	20.0×2	179.4	7.03	340.3	31.2	
Tiwit(Albay)								
Plant A	1979.5	110.0	55.0×2	162.3	6.68	448	97.6	84/278
Plant B	1980.4	110.0	55.0×2	162.3	6.68	448	90.3	
Plant C	1982.3	110.0	55.0×2	162.3	6.68	432	101.6	
Bac-Man-1(Sorsogon-Albay)								
Plant A Unit 1	1993.10	55.0	55.0×1	155.0	8.00	860	55.0	83/279
Plant A Unit 2	1993.12	55.0	55.0×1	155.0	8.00	860	55.0	
Bac-Man-2(Sorsogon-Albay)								
Cawayan	1994.3	20.0	20.0×1	166.0	6.00	372.2	20.0	
Botong	1998.4	20.0	20.0×1	161.0	6.00	372	20.0	
Tongonan-1	1983.6	112.5	37.5×3	159.4	6.20	305	99.7	
Tongonan-2								
Upper Mahiao	1996.9							
Combined Cycle Unit		127.26	31.185×4	188.0	12.00	1,019.2	125.0	
Ormat Energy Converter		4.6	4.6×1					
Malitbog	1997	77.5	77.5				77.5	
Tongonan-3								
Malitbog	1996.10	155.0	77.5×2	188.0	12.00	128.5	155.0	81/282
Mahanagdong A	1997.7	120.0	60.0×2	165.0	7.00	107.6	120.0	
Mahanagdong B	1997.7	60.0	60.0×2				60.0	
Tongonan 1 - Topping	1997.9	17.25	5.75×2				17.25	
Mahanagdong A - Topping	1997.9	12.7	6.35×2	165.0	7.00	100.4	12.7	
Mahanagdong B - Topping	1997.9	6.38	6.38×1				6.38	
Malitbog - Bottoming	1998.1	14.56	14.56×1				14.56	
Palinpinon-1	1983.9	112.5	37.5×3	156.5	5.77	327	112.5	
Palinpinon-2								
Okoy5	1993.12	20.0	20.0×1	156.5	5.37	58.2	20.0	83/285
Nasuji	1994	20.0	20.0×1				20.0	
Sogongon	1995	40.0	20.0×2				40.0	

425.73MW

330.00MW

150.00MW

707.75MW

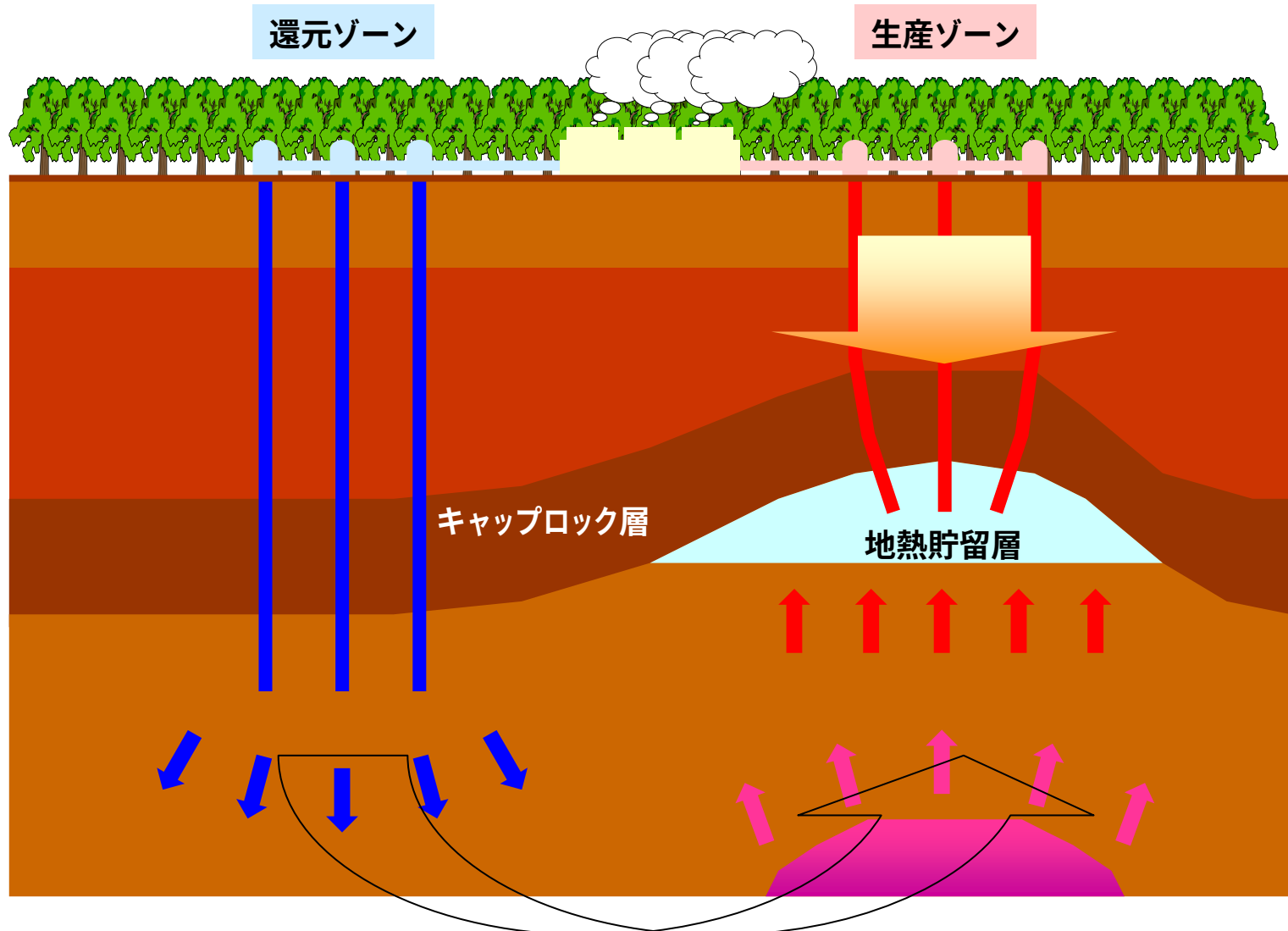
192.5MW

フィリピンの地熱エネルギーは…

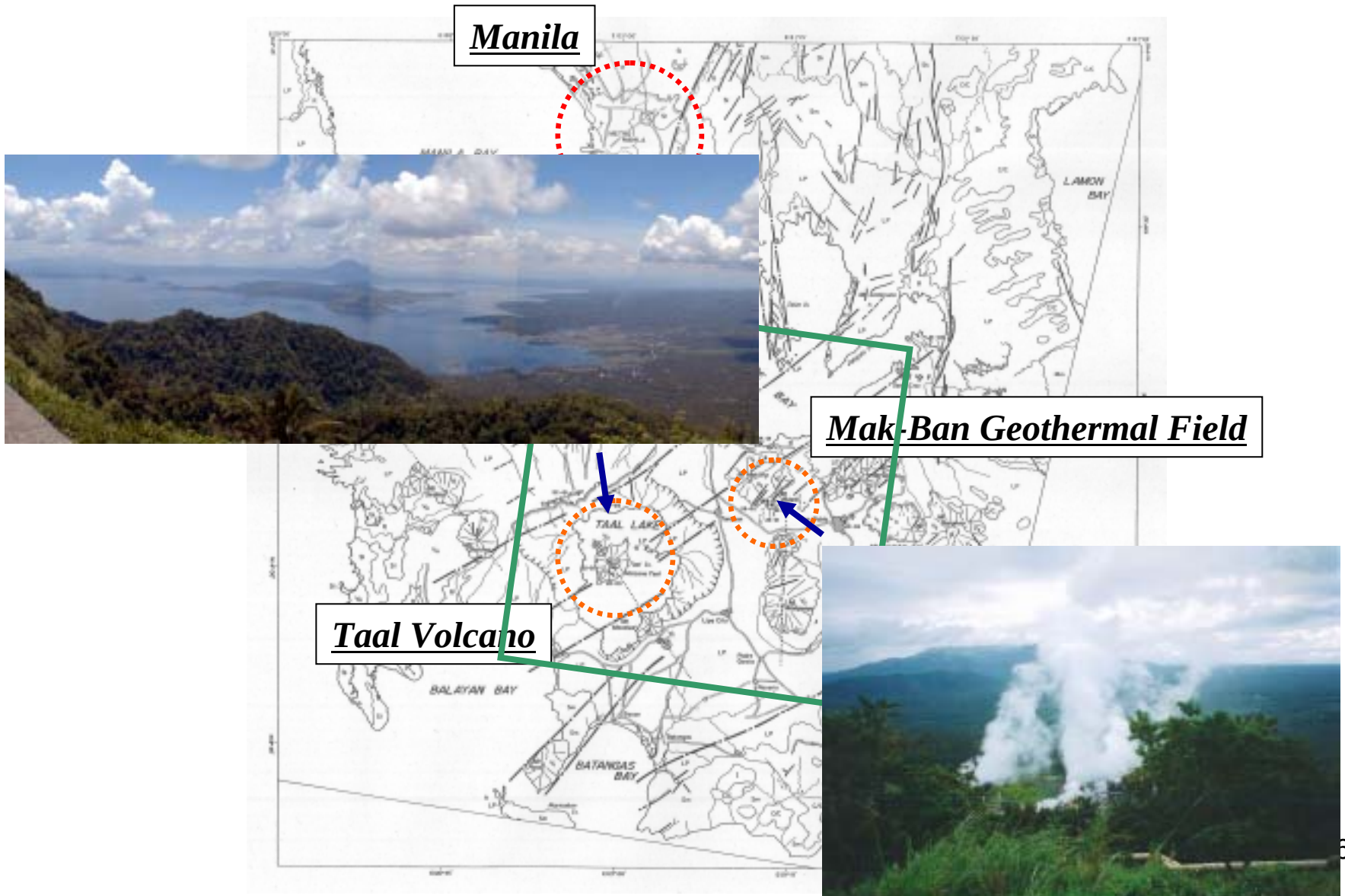
- **フィリピンの地熱発電量はアメリカに次ぐ世界第二位**
- **フィリピンの全電力の20%近くが地熱発電で賄われている
(約2,000MW)**

**(参) 日本の地熱発電量は約550MW、日本最大の八丁原発
電所で110MW**
- **フィリピンは6箇所で約2,000MW、日本は17箇所で約550MW**
- **フィリピンでは地熱資源は化石資源の代替エネルギーの柱となっている**
- **地熱の根源は火山活動→近くに活火山・温泉地域あり**

地熱発電の概念



Mak-Ban地熱とTaal火山の位置



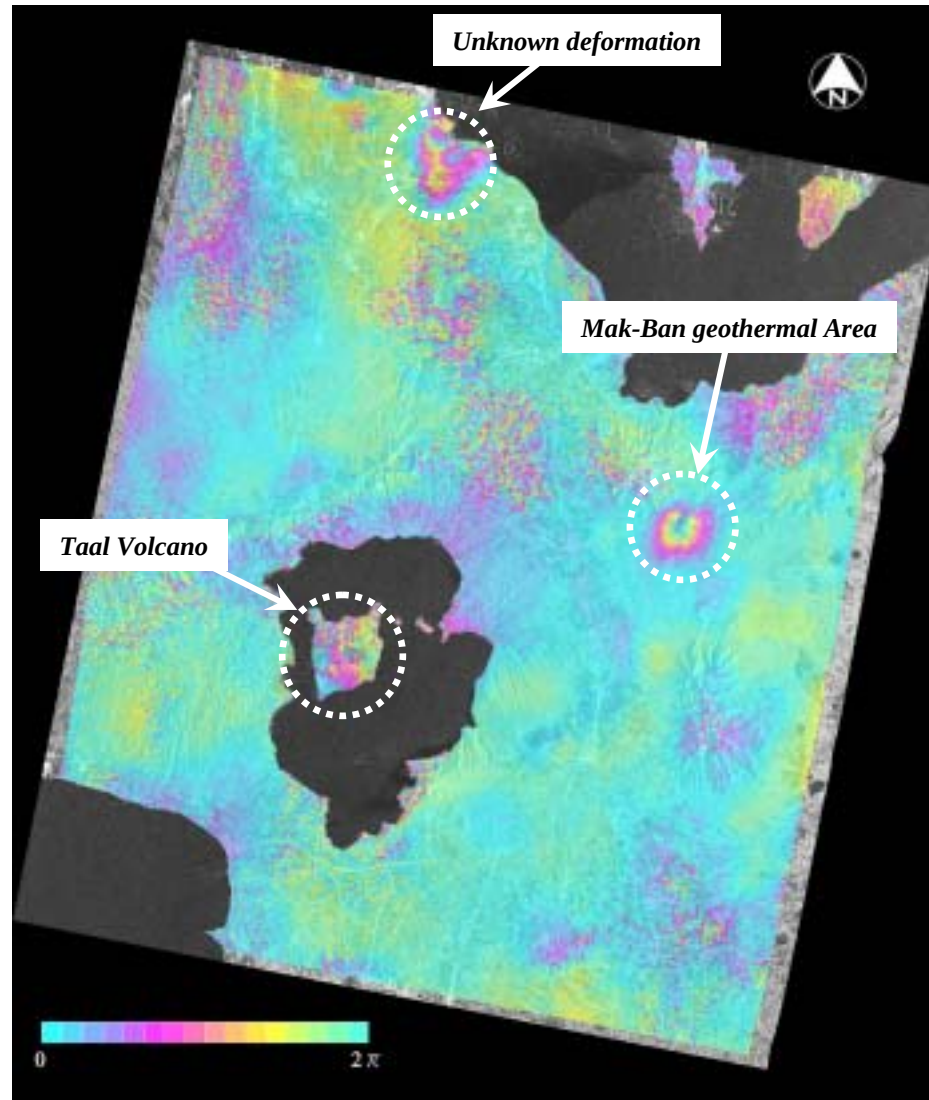
JERS-1/SAR画像



Date : 1995.2.24

Path/Row : 089/277

JERS-1/SAR Interferogram

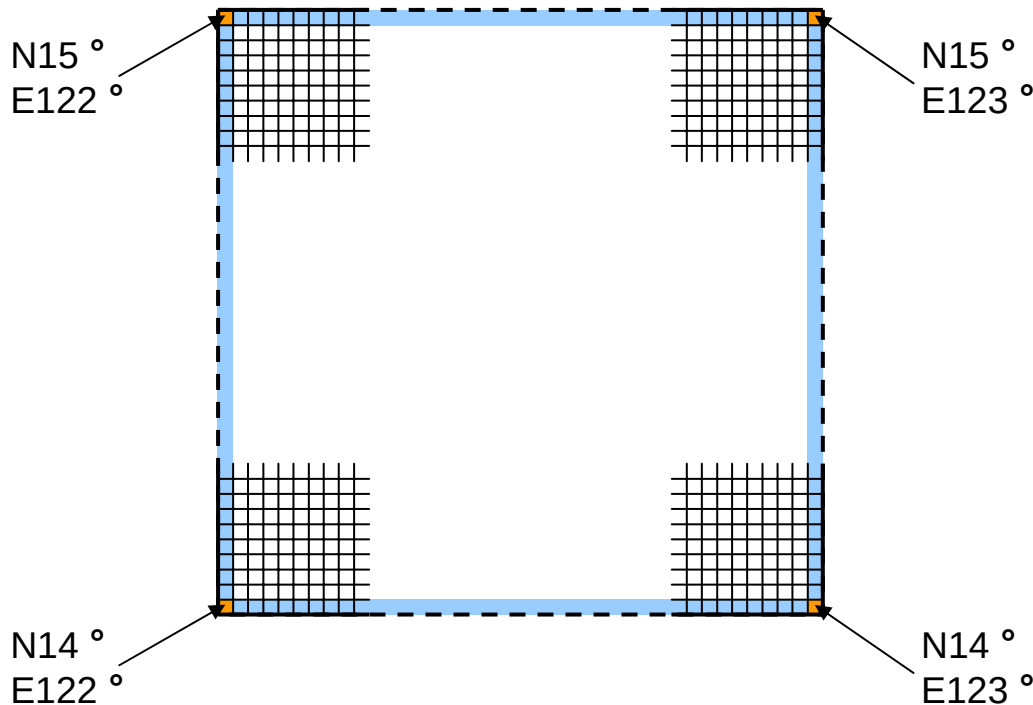


Master : 1995.2.24
Slave : 1998.10.16
Path/Row : 089/277
Bp : 290 (m)
B_temp : 1,320 (days)
External_DEM : SRTM

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

ERSDAC

「N14E122.hgt」 の場合



DEM resolution : 3 sec.

Data Format : 2 byte (Big-Endian)

Num. of Pixel : 1201 × 1201

File size : 2,884,802 (byte)

wavelength	0.03122 (m)
Look angle (swath center)	52 (deg.)
Slant range (mid swath)	400,000 (m)
Baseline	60.96 (m)

D.Geudtner, M.Zink, C.Gierull, S.Shaffer(2002):Interferometric Alignment of the X-SAR Abtenna System on the Space Shuttle Radar Topography Mission, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol.40, No.5, P.995-1006



**1サイクル (2π) に相当する地形高度は
約85(m)**

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

1サイクル (2π) に相当する地形高度は
約85(m)

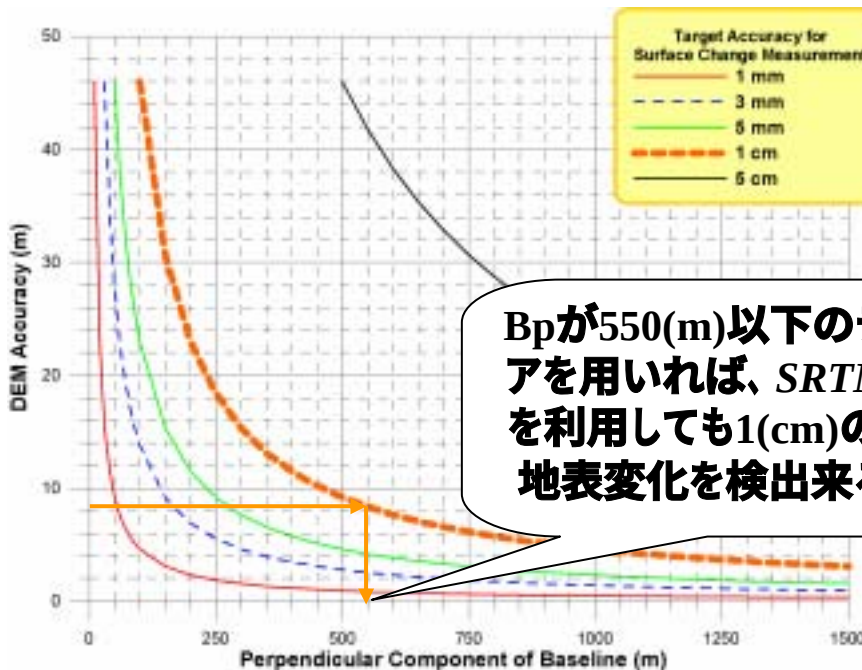


$$\sigma_{DEM} = \frac{\sigma_p \times 459,735}{B_p}$$

σ_{DEM} : DEMの精度

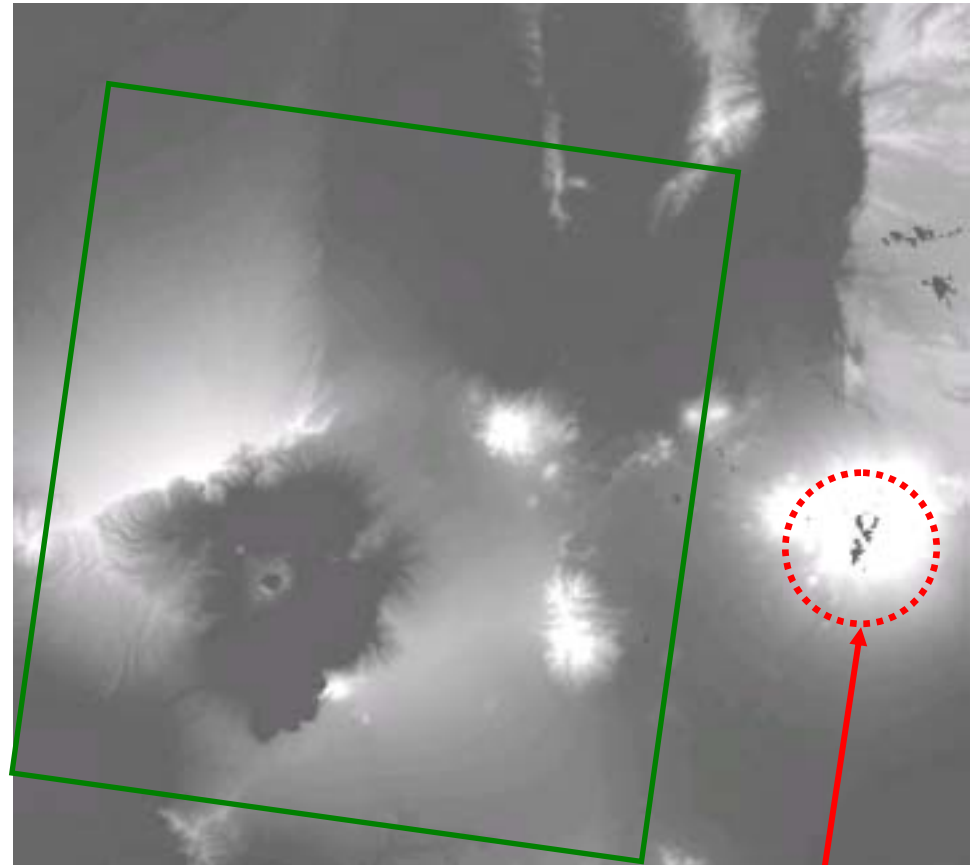
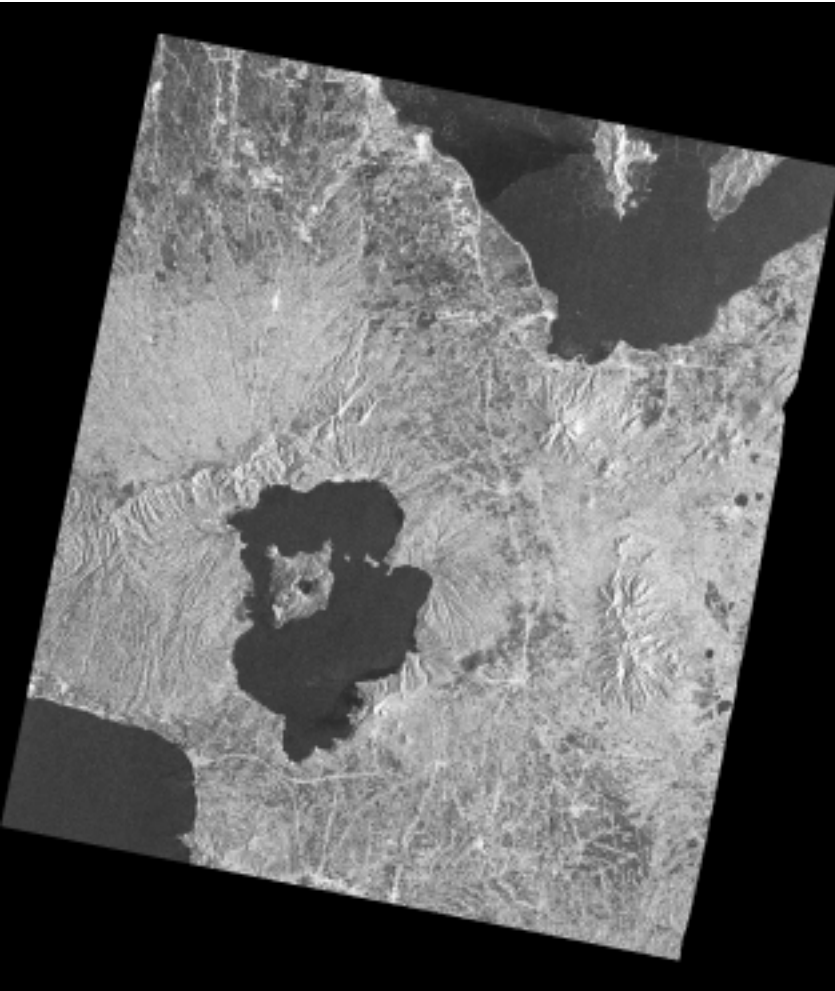
σ_p : 目標とする地表変位計測精度

B_p : 軌道間距離 (垂直成分)



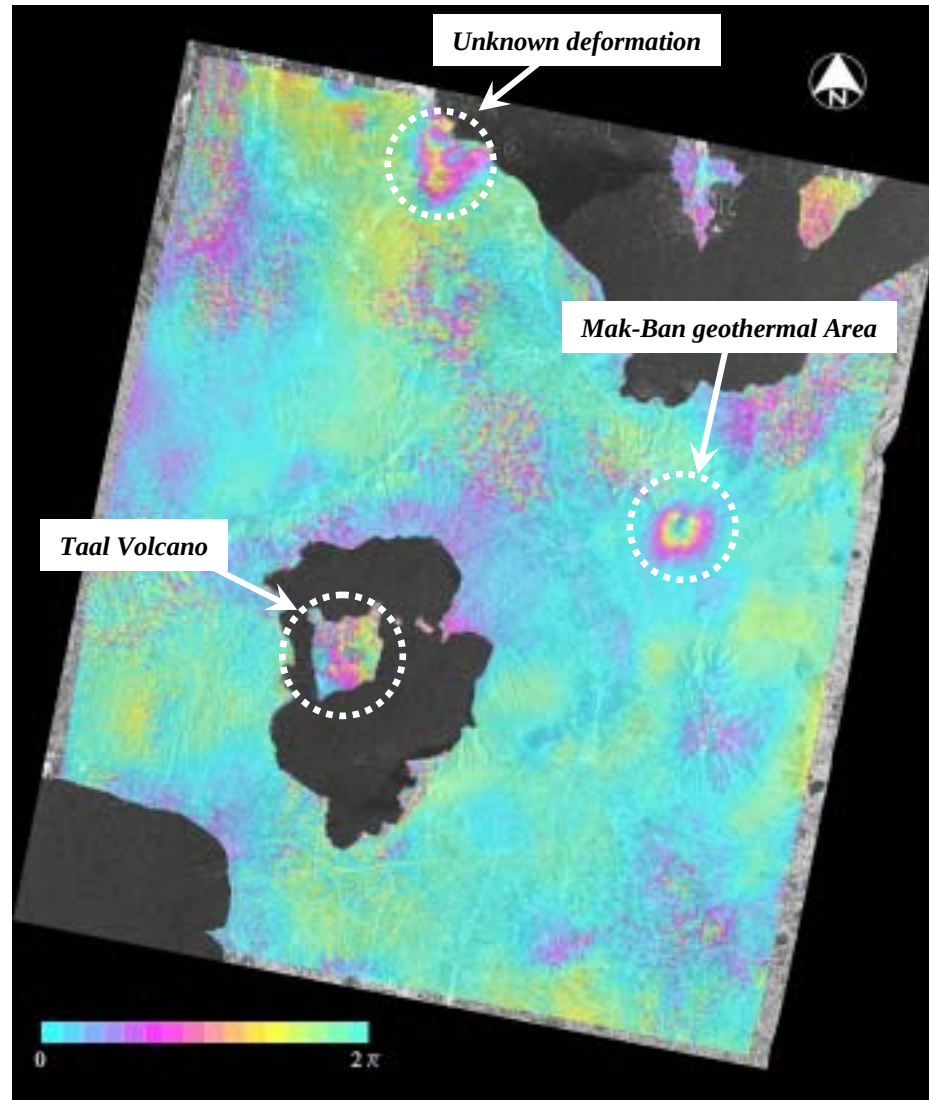
SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

ERSDAC



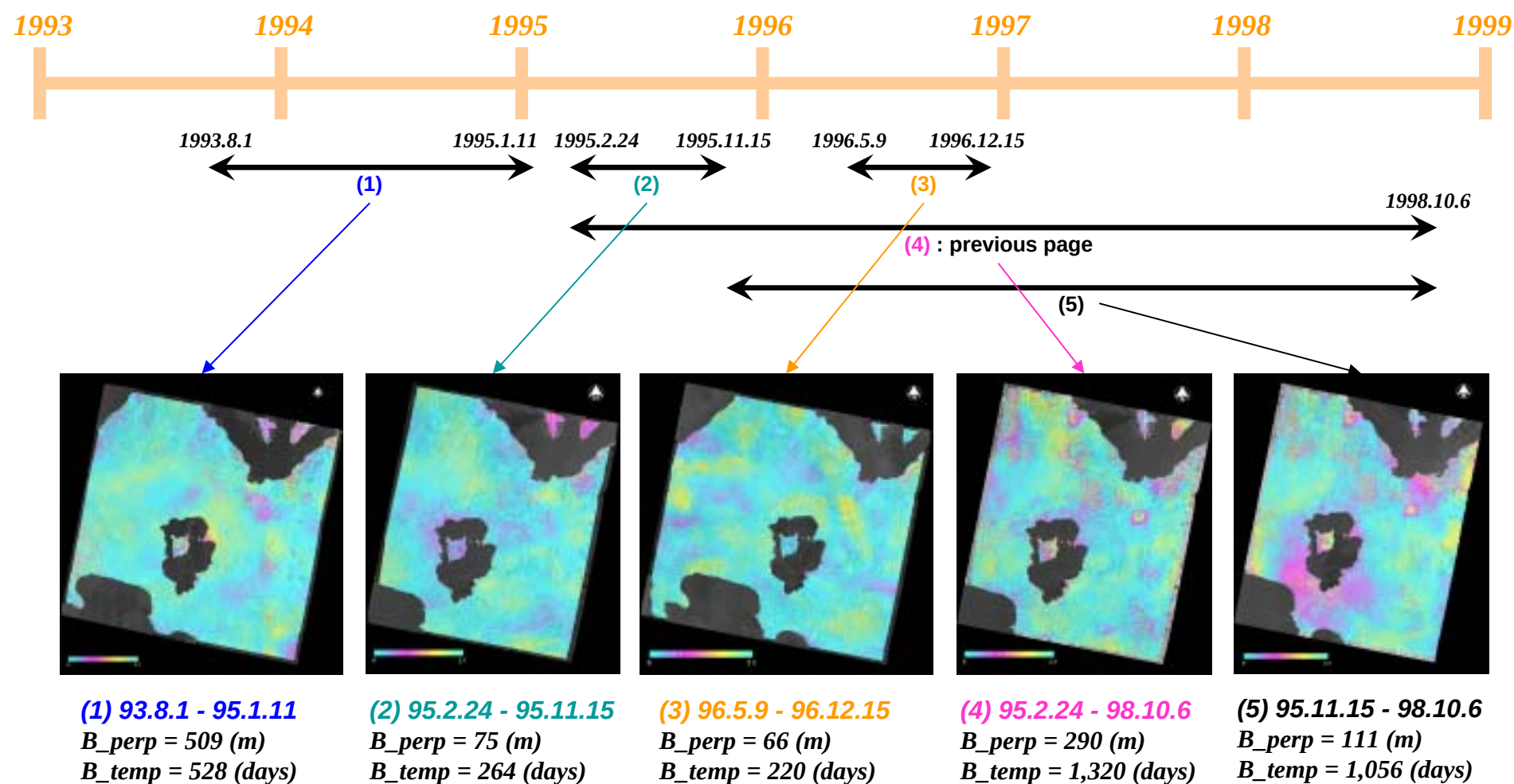
DEMエラーがある

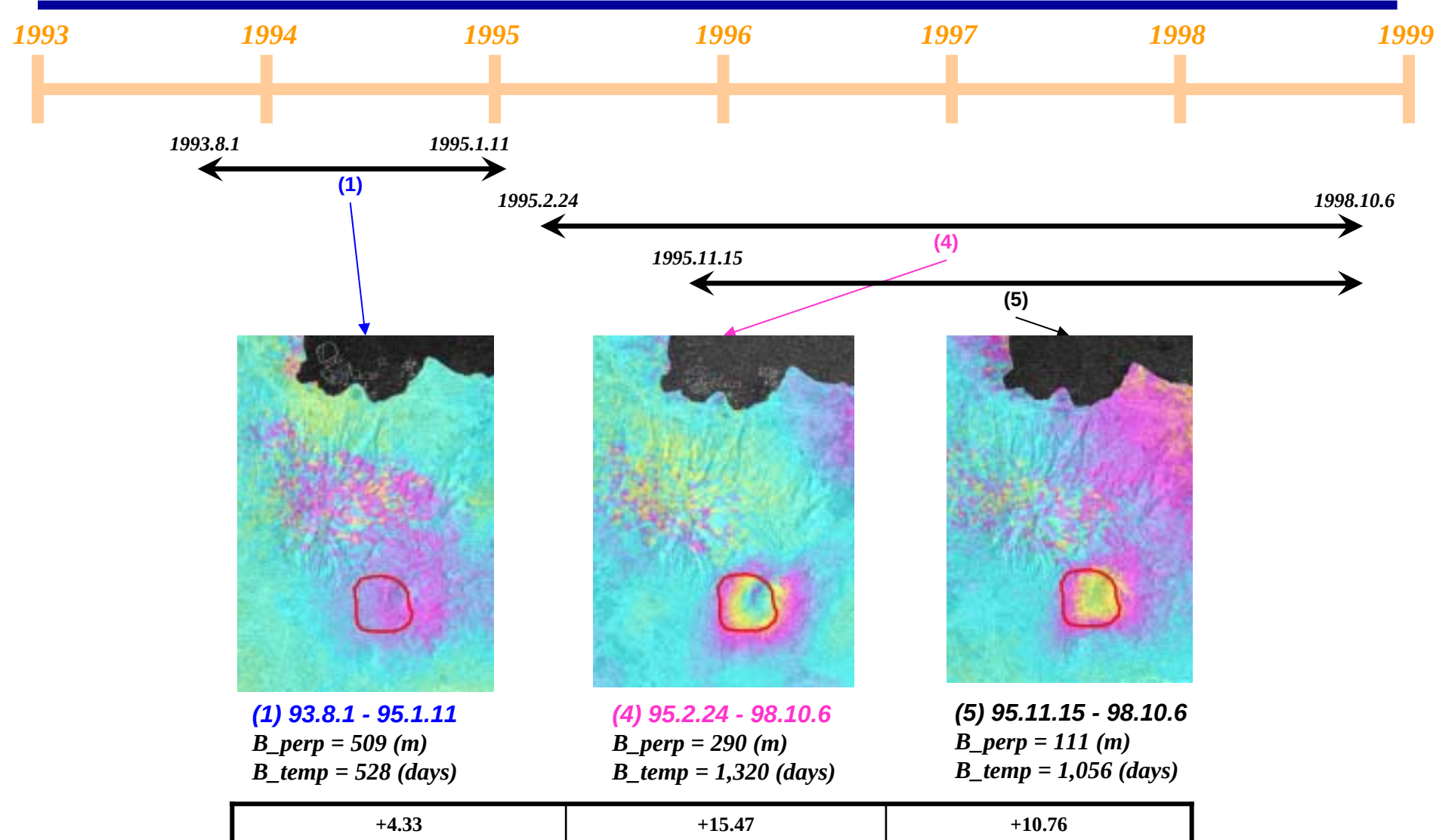
JERS-1/SAR Interferogram



Master : 1995.2.24
Slave : 1998.10.16
Path/Row : 089/277
Bp : 290 (m)
B_temp : 1,320 (days)
External_DEM : SRTM

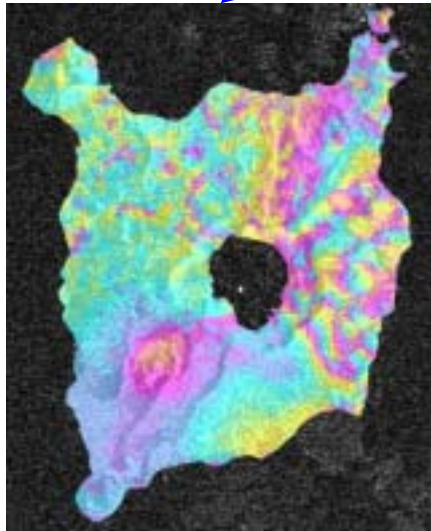
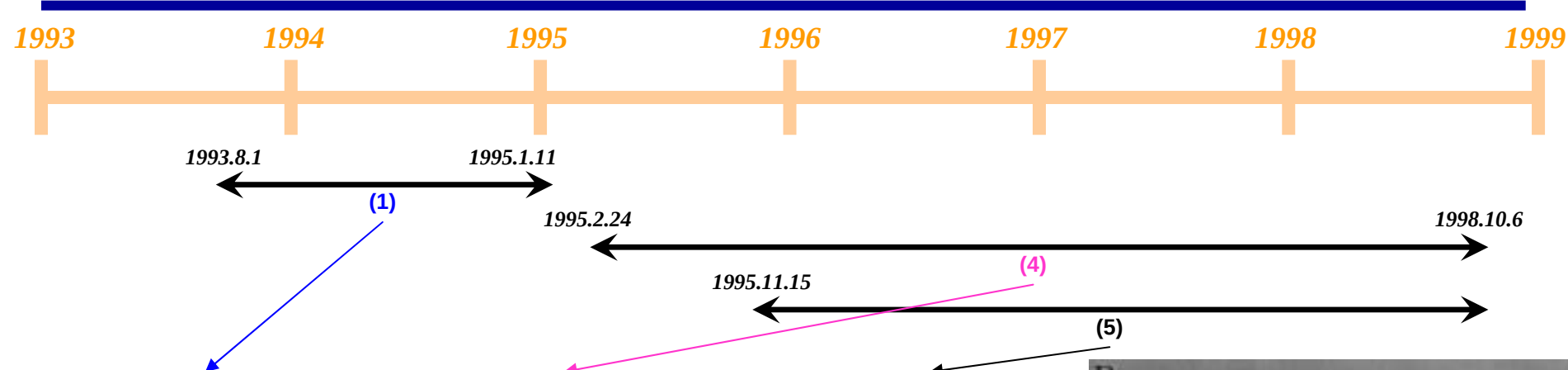
JERS-1/SAR Interferogram



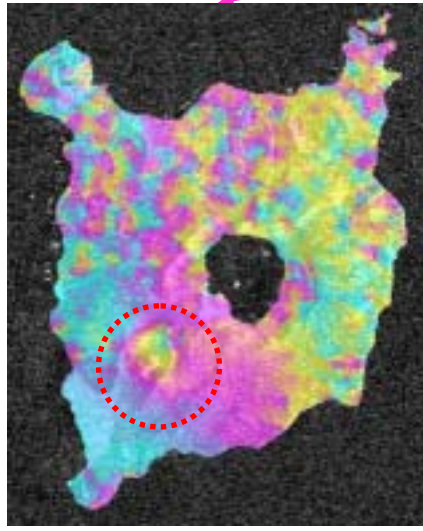
Mak-Ban geothermal field

The direction from sensor to ground is positive. (cm)

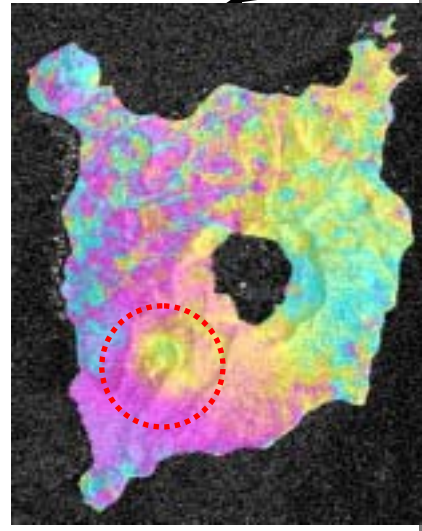
Taal Volcano



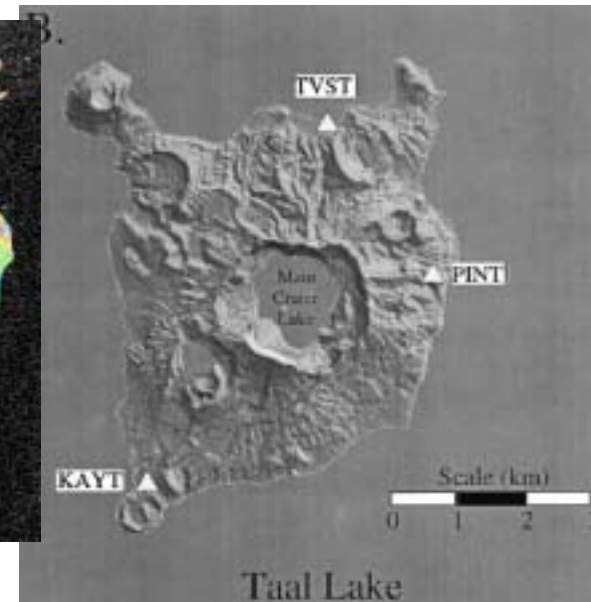
(1) 93.8.1 - 95.1.11
 $B_{\text{perp}} = 509 \text{ (m)}$
 $B_{\text{temp}} = 528 \text{ (days)}$



(4) 95.2.24 - 98.10.6
 $B_{\text{perp}} = 290 \text{ (m)}$
 $B_{\text{temp}} = 1,320 \text{ (days)}$



(5) 95.11.15 - 98.10.6
 $B_{\text{perp}} = 111 \text{ (m)}$
 $B_{\text{temp}} = 1,056 \text{ (days)}$

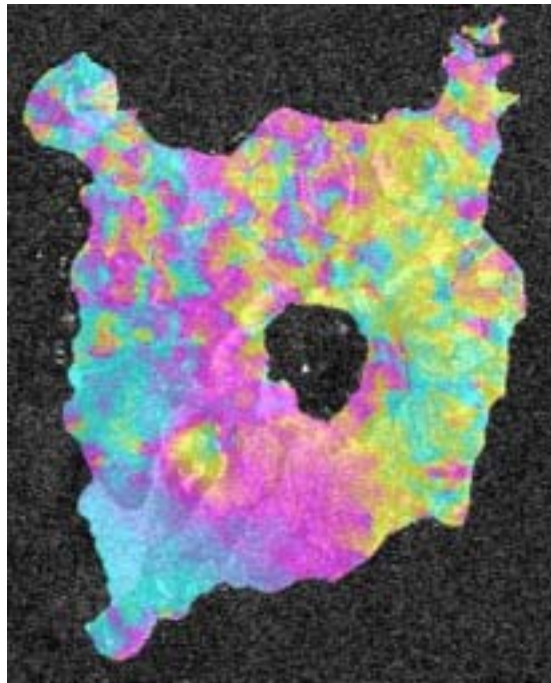


A.R.Lowry, M.W.Hamburger, C.M.Meertens and
 E.G.Ramos(2001):GPS monitoring of crustal deformation as
 Taal Volcano, Philippines, *Journal of Volcanology and
 Geothermal Research* 105, 35-47

*東西方向にも位相差が変化する
 →フラットニングは出来ているので残軌道縞ではない



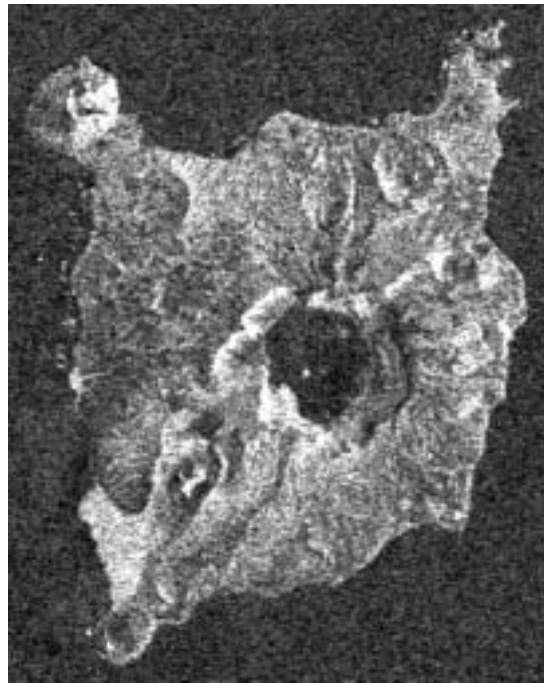
Taal Volcano



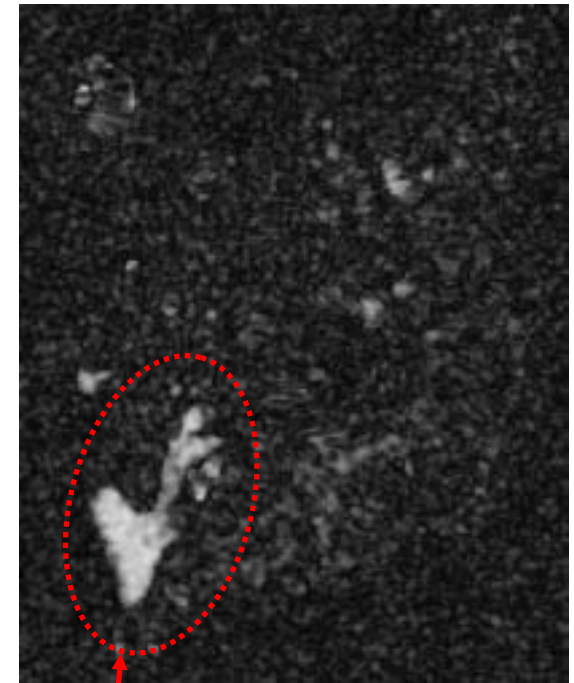
(4) 95.2.24 - 98.10.6

$B_{\text{perp}} = 290 \text{ (m)}$

$B_{\text{temp}} = 1,320 \text{ (days)}$

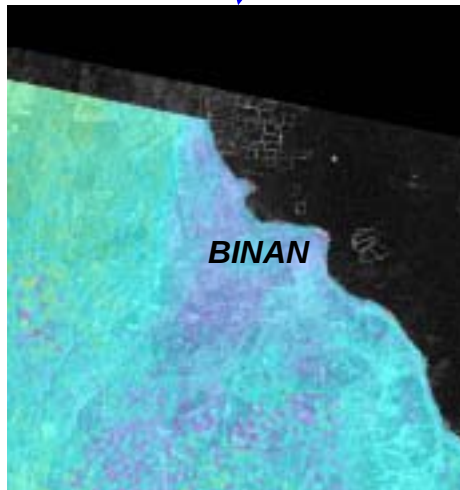
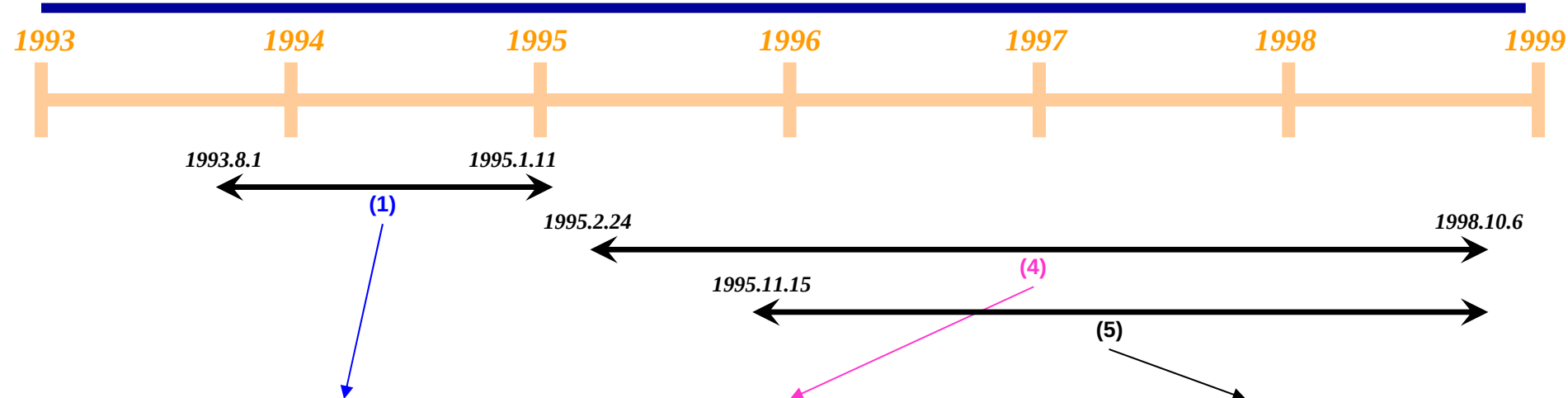
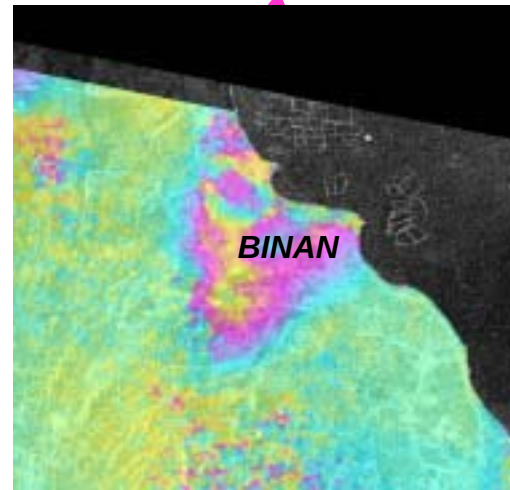
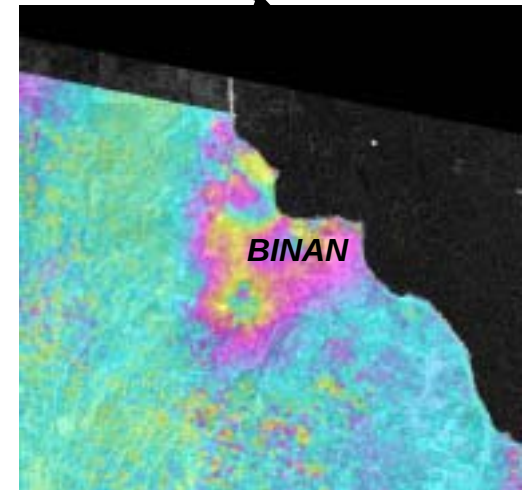


Master



Coherence

コヒーレンスはかなり高い

Unknown Area**(1) 93.8.1 - 95.1.11** $B_{\text{perp}} = 509 \text{ (m)}$ $B_{\text{temp}} = 528 \text{ (days)}$ **(4) 95.2.24 - 98.10.6** $B_{\text{perp}} = 290 \text{ (m)}$ $B_{\text{temp}} = 1,320 \text{ (days)}$ **(5) 95.11.15 - 98.10.6** $B_{\text{perp}} = 111 \text{ (m)}$ $B_{\text{temp}} = 1,056 \text{ (days)}$ 

まとめと今後の課題

- *Mak-Ban*地熱地域、*Taal*火山周辺、*BINAN*周辺で有意な地表変位を観測する事ができた (全て衛星から遠ざかる方向、地盤沈下？陥没？地滑り？)
- *Taal*火山については、東西方向に変化する (軌道と平行) 干渉縞もあり
- *Mak-Ban*地熱の現地データ (水準測量やGPS観測、有無は不明) を入手して比較
- *Taal*火山南西部と*Unknown Area*で何が起こっているか？→情報収集
- フィリピンで稼動している他の地熱地域についても干渉処理を実施
- インドネシアも総発電量の約4%を地熱で賄っているので干渉処理を実施
- 干渉処理で得られた沈下量は、地熱貯留層評価に役立つのか？

END

どうもありがとうございました