

ALOS-2の現状と受信機衛星群による森林観測 及びDEM作成

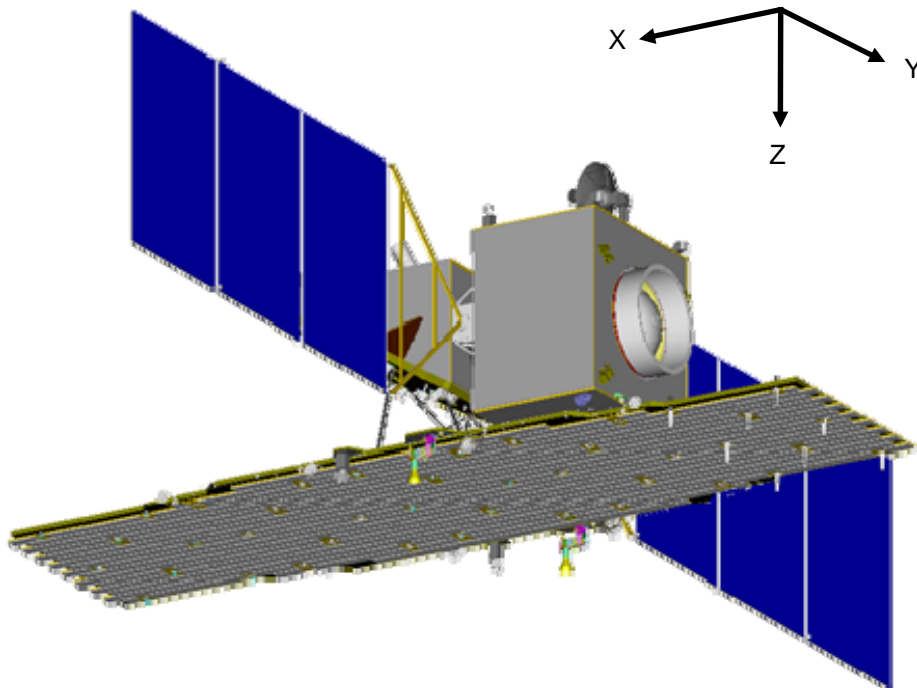
PALSAR Status of ALOS-2 and forest observation and DEM generation by receiver satellites

島田政信・勘角幸弘・会田芳久

宇宙航空研究開発機構、地球観測研究センター、305-8505、茨城県つくば市千現2-1-1、電話：029-868-2474、ファックス：029-868-2961、shimada.masanobu@jaxa.jp

Satellite :

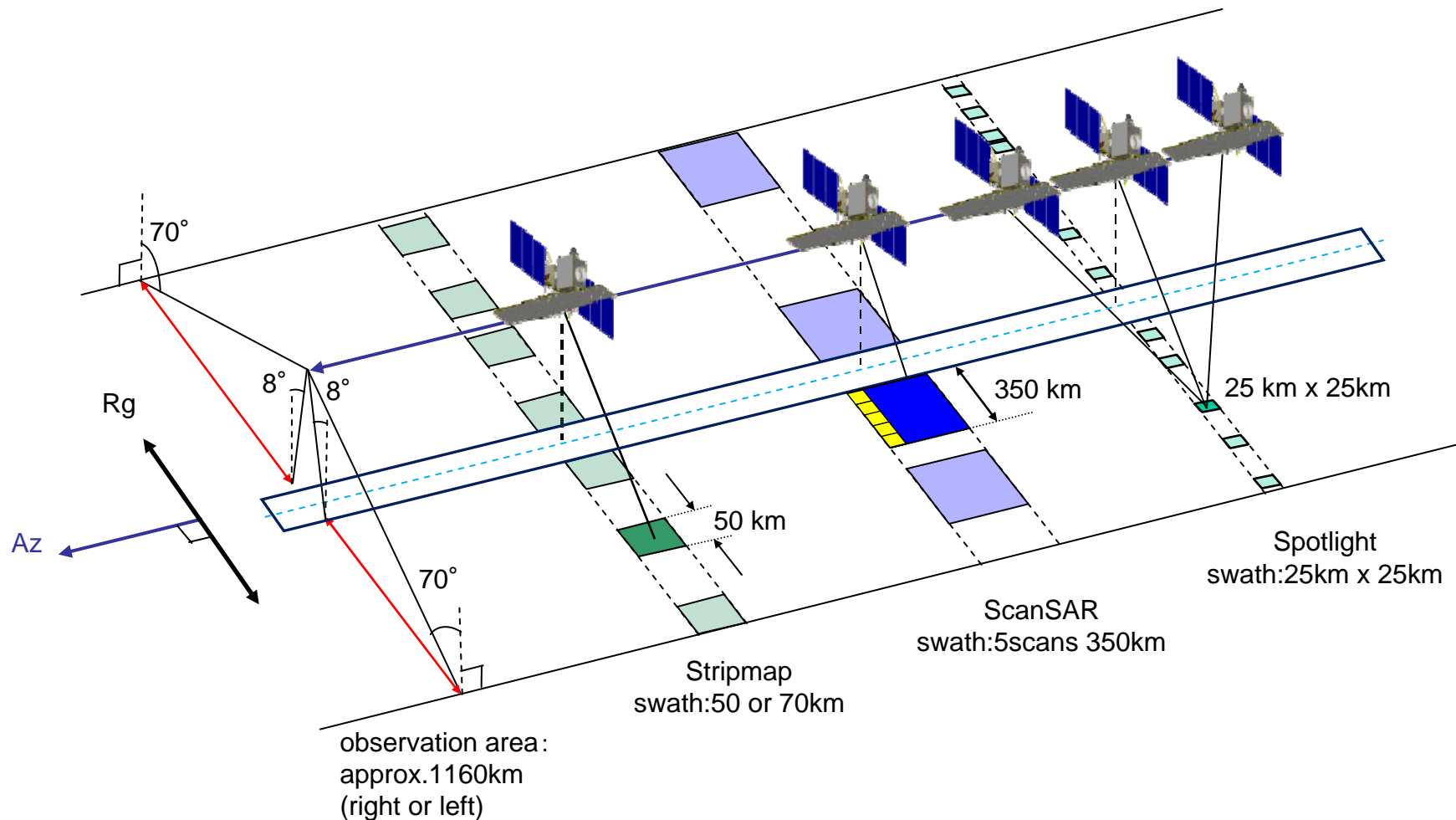
- Orbit type : Sun-synchronous
- Launch : 2013
- Altitude : 628km +/- 500m(for reference orbit)
- Revisit time : 14days
- Orbit per day : 15-3/14
- LSDN : 12:00 +/- 15min
- Right- / Left-side looking



Mission Sensor :

- L-band Synthetic Aperture Radar
- Active Phased Array Antenna type
two dimensions scan (range and azimuth)
- Antenna size : 3m(EI) x 10m(Az)
- Bandwidth : 14 to 84MHz
- Peak transmit Power : 5100W
- Observation swath : 25km to 350km
- Resolution : Range 3m to 100m
Azimuth 1m to 100m

ALOS-2 Imaging modes



- RF specification of observation modes is as follows,

	Spotlight	Ultra Fine	High sensitive	Fine	ScanSAR
Bandwidth	84MHz	84MHz	42MHz	28MHz	14MHz
Resolution	Rg × Az: 3 × 1m	3m	6m	10m	100m
Swath	Rg × Az: 25 × 25km	50km	50km	70km	350km
Polarization	SP	SP/DP	SP/DP/FP/CP	SP/DP/FP/CP	SP/DP
Data rate	800Mbps	800Mbps	800Mbps	400Mbps	400Mbps
NESZ	-24dB	-24dB	-28dB	-26dB	-26dB
S/A	Rg	25dB	25dB	23dB	25dB
	Az	20dB	25dB	20dB	20dB

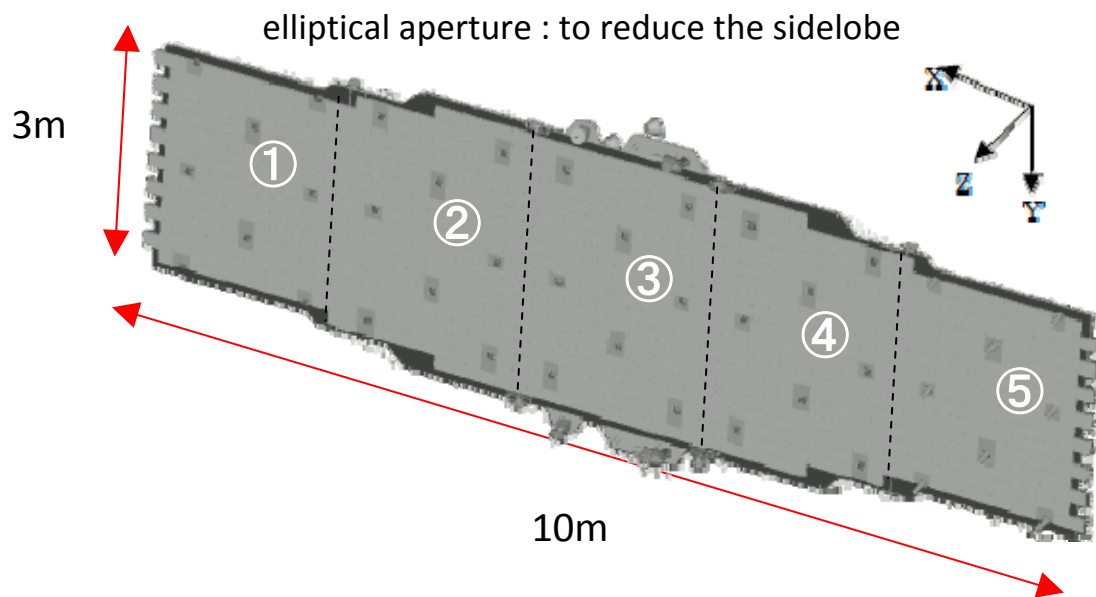
The specification is defined that,

- the incidence angle is 37deg
- above the equator

The polarization is as follows,

- SP :Single polarization
- DP : Dual polarization
- FP : Full polarization
- CP : Compact polarization(experimental mode)

- The antenna type : Active Phased Array Antenna
- The antenna size : 3m(EI) x 10m(Az)
- The polarization isolation : 30dB (target)



The peak radiation power is,

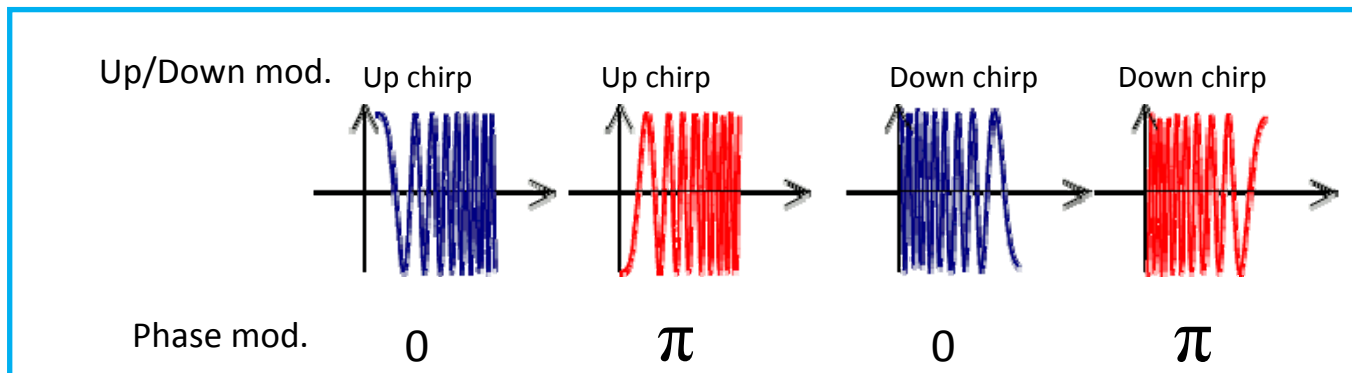
- **3300W** with 3/5 aperture
 - Spotlight mode
 - Ultra-Fine mode
- **5100W** with full aperture
 - High sensitive mode
 - Fine mode
 - ScanSAR mode

ALOS-2 can select Tx panels from 3 panels or 5panels(full aperture) to meet the resolution requirements

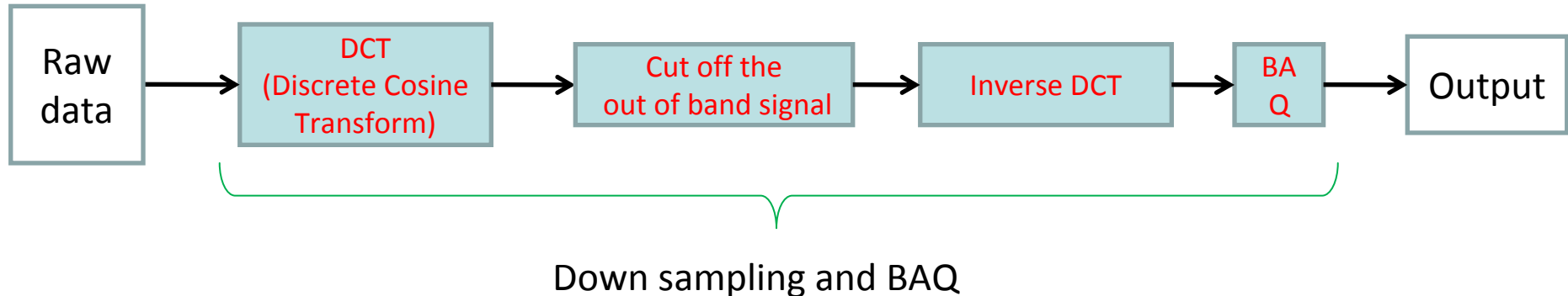
- 3 panels are consisted of ②,③,④

- High incidence angle image
⇒ Range ambiguity is big = the image quality is low.
- In order to reduce the range ambiguity,
 - reduce the PRF
 - narrow the elevation beamwidth
 - **distinguish the pulses**
- To distinguish the each pulse, ALOS-2 designed the chirp modulation.
 - Up/Down and Phase modulation in each pulse.
 - PALSAR is only Down chirp

The resource is limited
(Antenna size, etc)



- ALOS-2 has the high specification (high resolution and wide swath), so the data rate is higher than PALSAR.
 - The data rate of PALSAR : max. 240Mbps
 - The data rate of ALOS-2 : **max. 800Mbps**
- The data compression algorithm of ALOS-2 is conventional BAQ(Block Adaptive Quantization) and/or Down Sampling and BAQ(DS-BAQ).
 - BAQ is used for several SAR satellite like “TerraSAR-X”, “Cosmo-skymed”, etc.
 - The compression ratio of DS-BAQ is higher than BAQ.
 - ALOS-2 can output the data without data compression.

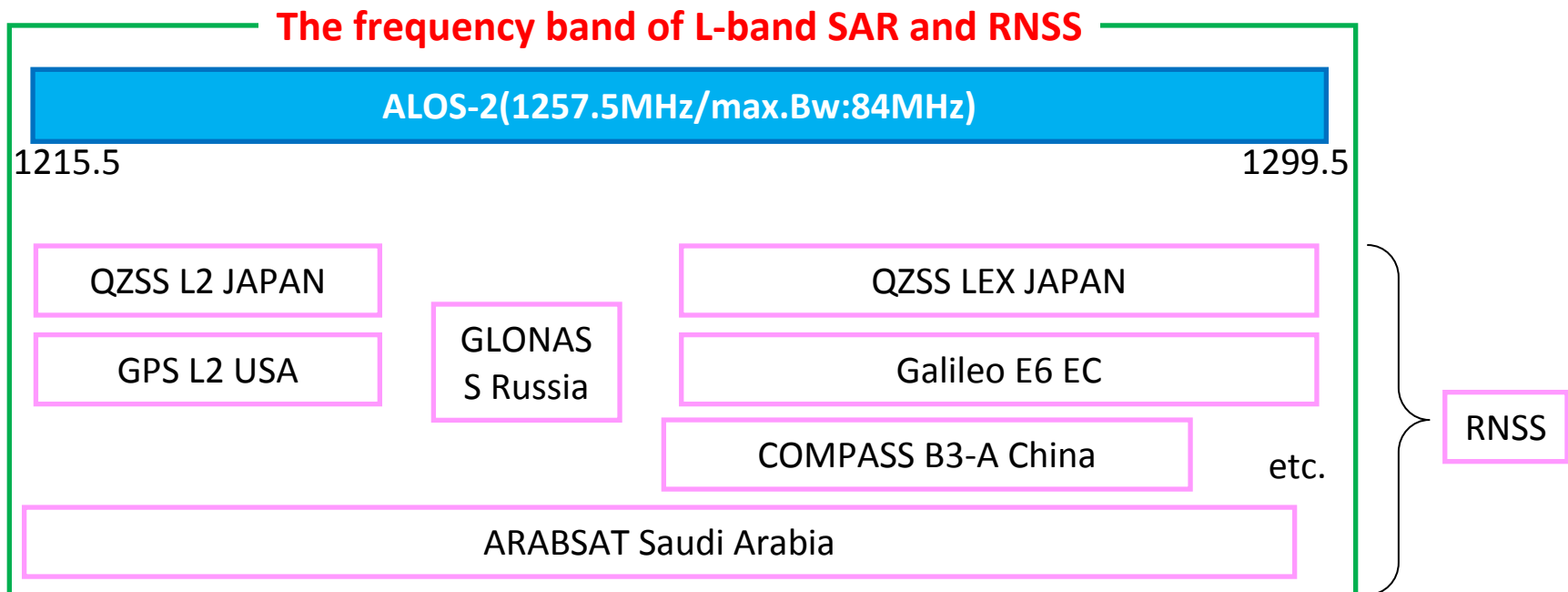


The frequency issues

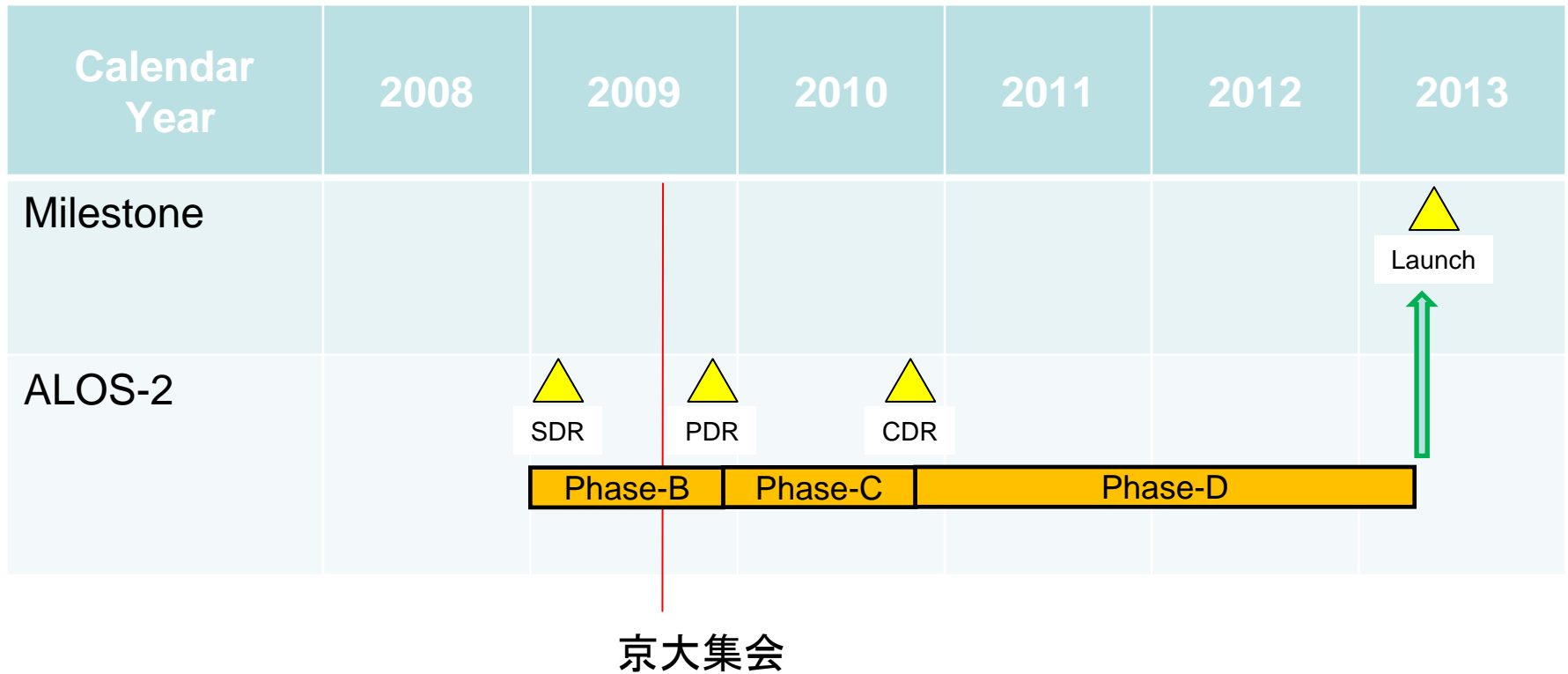
- The frequency band of L-band SAR is allocated from 1215 to 1300MHz.
 - ALOS-2 has the maximum bandwidth 84MHz.
- In this band, not only L-band SAR but also Radio navigation satellite service(RNSS).
- ALOS-2 has started the coordination with RNSS.

1215MHz

1300MHz



- ALOS-2 is currently under Phase-B (design phase)



小型SARミッションのシステム検討

1. 小型FF-InSARミッションの意義

衛星1機によるリピートパス観測では、**観測頻度、観測精度等に限界**がある。
(リピートパス観測: インタフェロメトリ時のコヒーレンスが経験的に0.5を下回る)



複数衛星によるシングルパス観測で、**観測頻度、観測精度等の向上**を図る。
(宇宙基本法においても言及されている。)



小型のSAR衛星を**早期**に軌道上に配置し、ALOS2と**協調**、軌道上実証を行う。

1) ALOS2の近傍をフォーメーションフライト(FF)し、SARインタフェロメトリ用の観測データを同時期に取得する。(同時期観測: コヒーレンスが限りなく1に近くなる)

2) 取得したデータを処理し、効率的なDEMの作成、**高頻度な地殻変動の把握、バイオマス量の把握**(ポラリメトリック干渉)を行う。

小型SARミッションのシステム検討

2. ミッションの要求、期待される効果(案)

シングルパスによる干渉SARによるプロダクトと効果

シングルパス干渉SARによるプロダクト	概要	期待される効果
効率的なDEMの作成	単一パスSAR干渉により全球DEMデータの作成	電離層、大気の補正不要、漂高精度の向上、緯度60度以上が揃う。本当の標高データとなる
高頻度な地殻変動観測	観測データ量の増加により信頼性が向上する	従来の繰り返し干渉法のデータが2倍に増加し、そのために、信頼率が向上する。
植生変化 (高精度なバイオマスの把握)	ポラリメトリック干渉法を用いて、全球樹高を把握する。	地球温暖化に関する陸域炭素量の把握ができる。これまでは、200t/haのバイオマス上限があったが、200～500t/haが計測可能になる。特に、熱帯雨林の炭素量把握に非常に有効
移動体監視(ATI)	地表異動物体の把握 さらには波浪の進行方向を一意に決定できる	海上監視等(これまでは180度のアンビギュイティがあった)

小型SARミッションのシステム検討(メーカー依頼)

3. 小型SAR衛星のシステムの要求(案)

軌道高度、観測周波数帯、偏波、分解能をALOS2に可能な限り同等とし、アンテナ形式をフェーズドアレー以外(パラボラ等)で構成し、ミッション機器の考察、システム規模の縮小(**TOTAL200Kg以下**)を想定し、検討する。

<ミッション機器:SAR>

(1)ALOS2アンテナ面積 $2.9\text{m} \times 9.9\text{m} \doteq 28.71\text{m}^2$ ALOS2と同等面積でパラボラ $\Phi 6.04\text{m}$

- ・**アンテナゲインは-6dB下がるが、ミッションの達成度、システムリソースの関係から3m ϕ を検討**

(2)アンテナ面積のトレードオフ前提条件

- ・受信機2CH搭載(送信器H&V各1CH,受信機**H&V**2CHで4CH、TOTAL 6CH)
- ・データダウンリンク(Xバンド)用送信機2CH アンテナはSARアンテナを共用

(3)トレードオフパラメータ

- ・NESZ (アンテナ面積50%で-6dB)
- ・PRF周波数(2000Hz程度)VSプロダクト(入射角)
- ・IN_SAR相関度
- ・観測幅:ALOS2の中分解能モード:50kmを基準に設定
- ・S/A



パラボラSAR衛星の例
TECHSAR(イスラエル)

小型SARミッションのシステム検討(メーカー依頼)

3. 小型SAR衛星のシステムの要求(案)

<ミッションの達成度>

干渉SARによるプロダクト(DEM、高頻度な地殻変動観測、高精度なバイオマス量把握)

1. パラボラアンテナ径			DEM	地殻変動	バイオマス(偏波観測)	イメージング(画像)
1) 6mφ	開口径はALOS2と同じ	NEσ0は同等、ビームの照射範囲に制約あり	○	○	○	S/A Δ NEσ0 ○
2) 3mφ	開口径はALOS2より低下	NEσ0は低下、ビームの照射範囲に制約あり	Δ	Δ	○	S/A × NEσ0 Δ
2. 衛星相対位置、軌道保持制度の影響			DEM	地殻変動	バイオマス(偏波観測)	イメージング(画像)
1) ALOS2と受信専用小型SAR衛星			Δ	○	Δ	Δ
相対位置: 10km	2衛星間の距離が遠く、干渉度が低い			(1回帰後に観測する為)		
2) 受信専用小型SAR衛星が複数の場合、小型衛星どうし			○	-	○	Δ
相対位置: 100~200km	3衛星間の距離が近く、干渉度が高い					
			衛星間の時刻同期必須			
			衛星間の時刻同期必須			
3. SARのモード、			DEM	地殻変動	バイオマス(偏波観測)	イメージング(画像)
1) 帯域幅: 85MHz、ストリップマップモード、デュアルビーム			Δ	○	Δ	○
2) 帯域幅: 28MHz、ストリップマップモード、シングルビーム			○	Δ	○	Δ

小型SARミッションのシステム検討(メーカー依頼)

3. 小型SAR衛星のシステムの要求(案)

<衛星システム構成、バス、コンポーネント>

(1) 重量: **200kg(目標)**

大きさ: H-2A、4mフェアリング収納、**ALOS2相乗り**
アンテナ展開機構

(2) 信頼性のあるサブシステム、コンポーネント

従来の機器では、小型化、計量化に限界。
現状の小型衛星バスでは、機能不足、信頼性に難

(3) ロケットインタフェース

- ・ALOS2同時打上げ
- ・ALOS2近傍時期の打上げ(H-2以外のの打上げ手段の確保が必要)

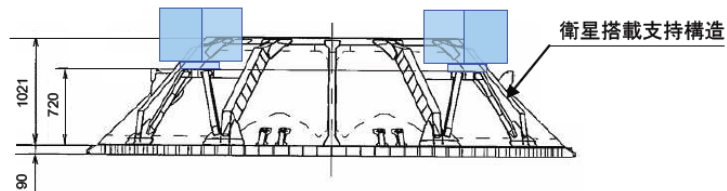
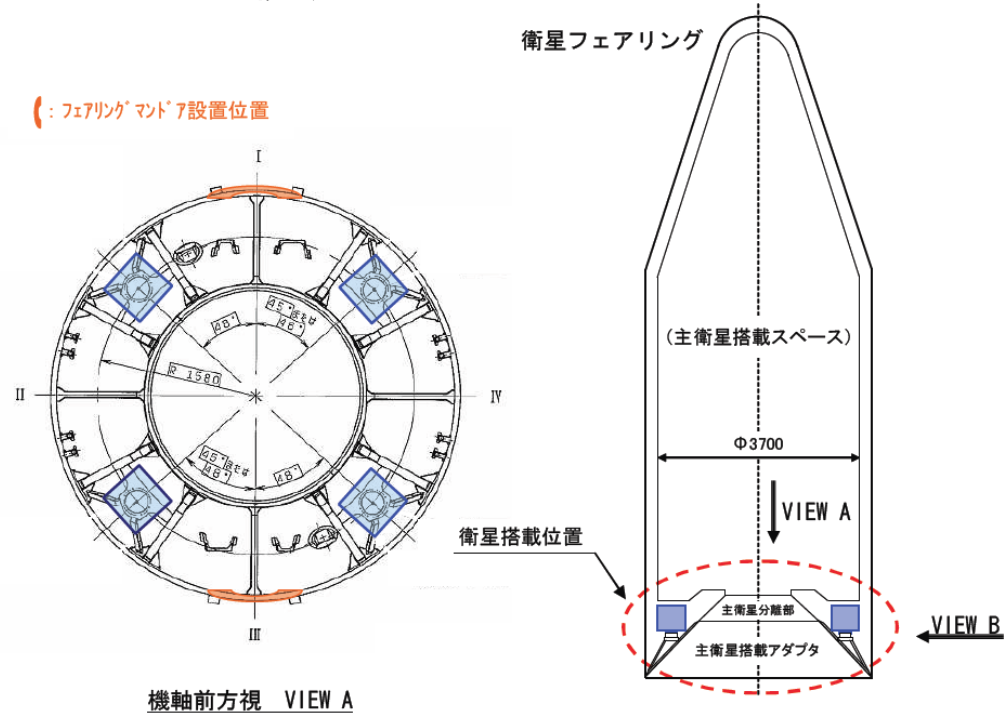
(4) コスト

総額 30億円(暫定)

小型SARミッションのシステム検討(メーカー依頼)

3. 小型SAR衛星のシステムの要求(案)

＜ロケット搭載コンフィギュレーション:複数衛星＞



機軸直交方向視 VIEW B

単位 mm

小型SARミッションのシステム検討(メーカー依頼)

3. 小型SAR衛星のシステムの要求(案)

<軌道配置>

ALOS2とのインタフェロメトリを実現できる軌道配置の検討:シングルパスインタフェロメトリ
同時刻帯にデータ取得できる、Bistatics方式が有力

(1)軌道配置

ALOS2に対する相対位置

- ・単独衛星←ALOS2、小型衛星間で干渉
- ・複数衛星、カートホイール配置←小型衛星間での干渉

(2)保持制御

- ・衛星間の距離、保持範囲

(3)軌道制御

- ・頻度、精度

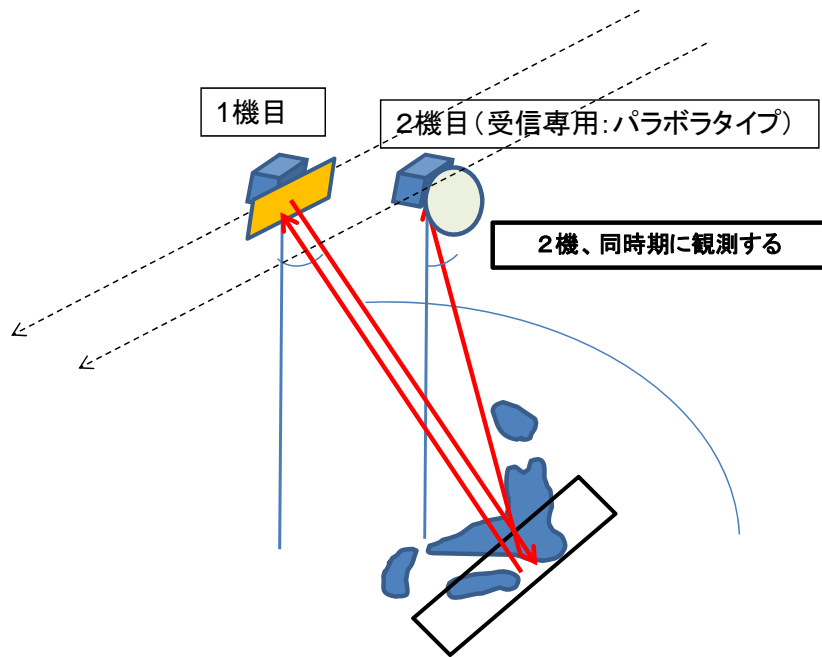
(4)観測モード等

- ・観測モードの選択:ALOS2の、どのモードを採用するか。(ストリップマップ、帯域幅、合成開口時間等)
- ・送受信タイプか受信専用タイプか

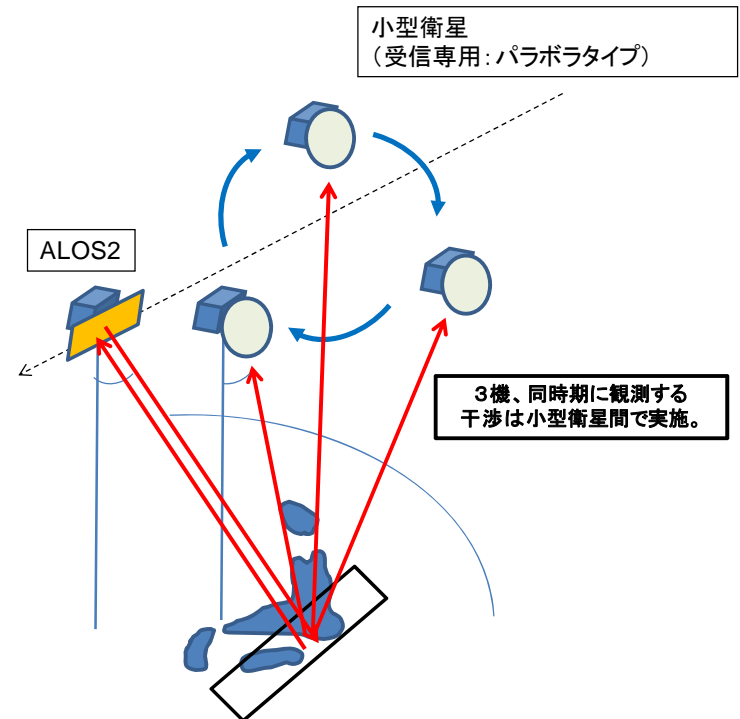
小型SARミッションのシステム検討

3. 小型SAR衛星のシステムの要求(案)

<軌道配置>



ALOS2と小型衛星1機



ALOS2と小型衛星複数機

(カートホイール配置)

Receiver SARs

Features:

Focused SAR images with gate controlling.

Accurate positioning

Generating the DEM and Forest height distributions
(Full POL-POLINSAR)

Payloads:

Launched with ALOS-2

Future problems: Data downloads, funding is not approved.

Capabilities and Limitations of the interferometric cartwheel

カートホイールの実現可能性と測定限界

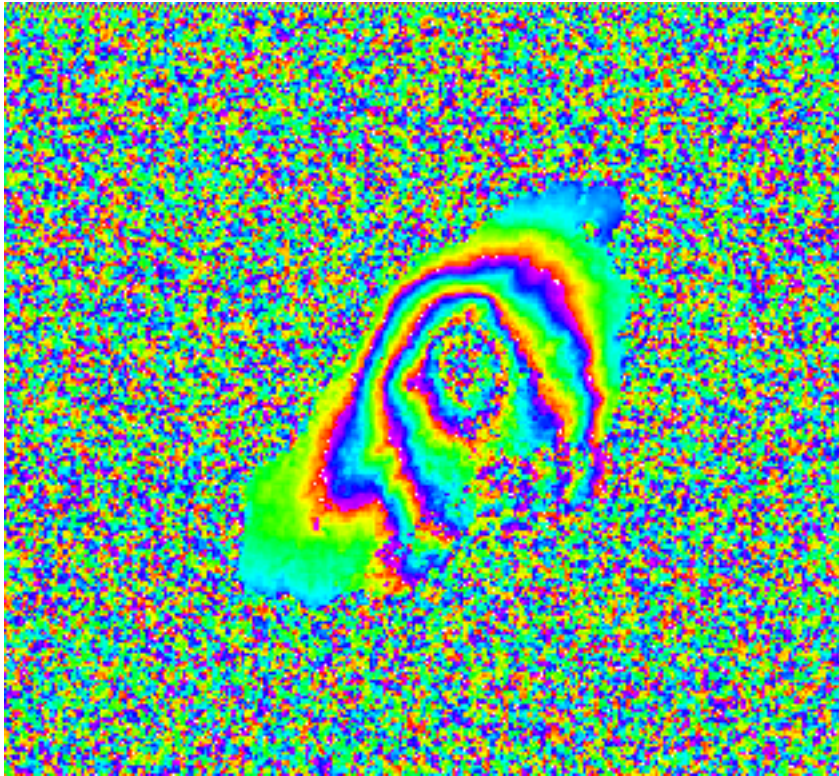
Proposal from CNES

Interferometric Cart Wheel (ICW)

カートウィールとは3個以上の小型衛星が、主衛星を連帯追尾し、主衛星が発射して地上から散乱した電波を異なる位置で受信する衛星群である。主衛星とは高度が微妙に異なっており、車輪がくるくる回転しているかのように見える。得られた信号は、衛星位置の違いや地形の勾配を利用して、高帯域化を計り、特に干渉処理の高精度化を計る。

What can be done by ICW.

DEM (1 m accuracy)	<-	across track InSAR
Ocean current mapping	<-	Along track InSAR
High resolution in range	<-	super synthesis(range)
High resolution azimuth	<-	super synthesis(azimuth)

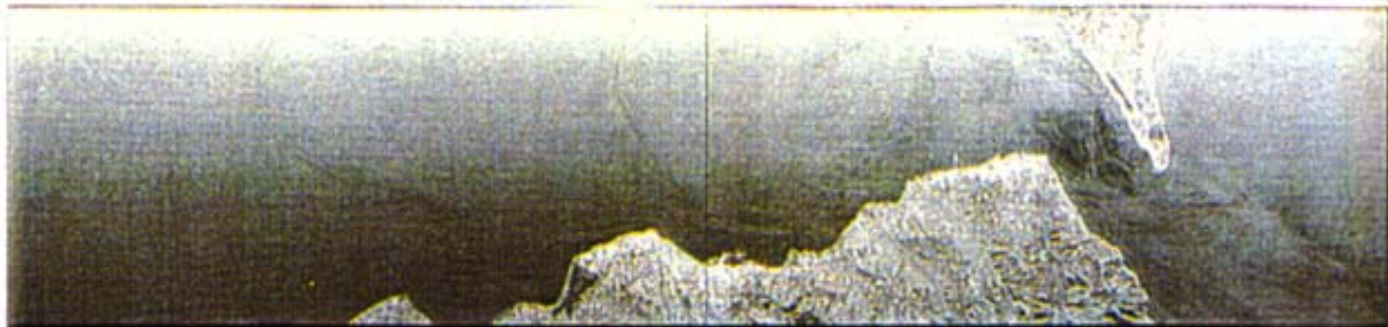


高精度か

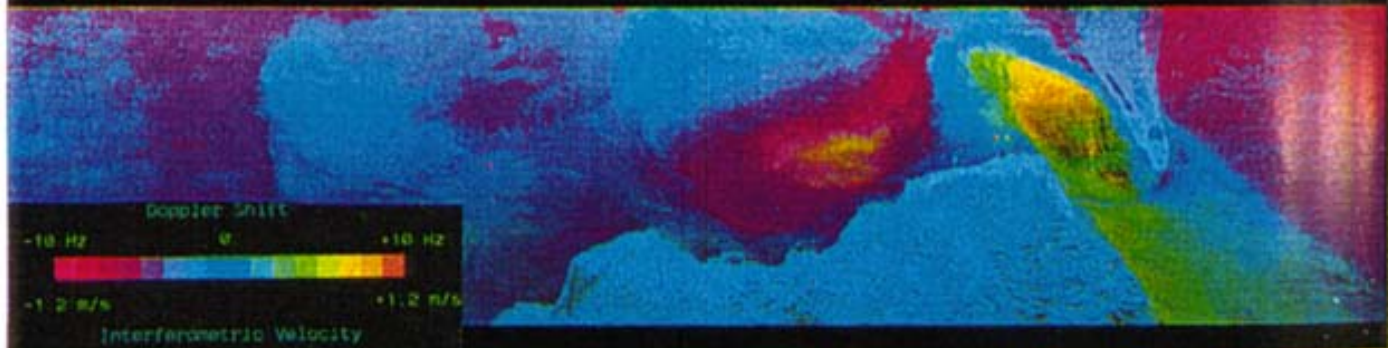
Along Track Interferometry

Strait of Messina: Dual-Baseline Along-Track Interferometer (LVV) - R. Crandall, JPL

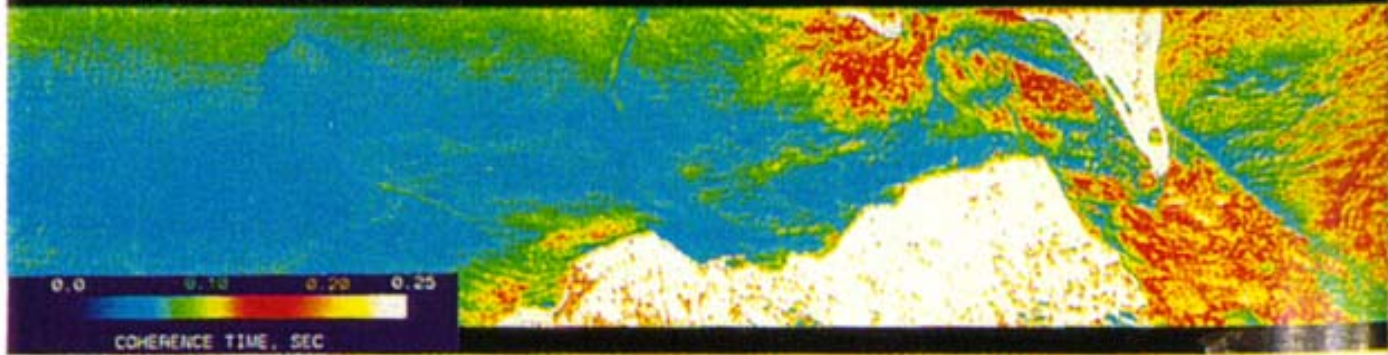
Amplitude



Doppler



Coherence



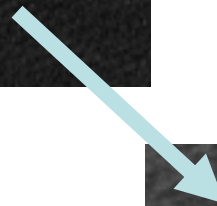
a=Standard LVV SAR b=Mean Doppler/current image c=Coherence time image

After : Crandall R, "Estimating ocean coherence time using dual baseline interferometric synthetic aperture radar," IEEE., GRS, Vol. 32, pp. 846-854, 1994

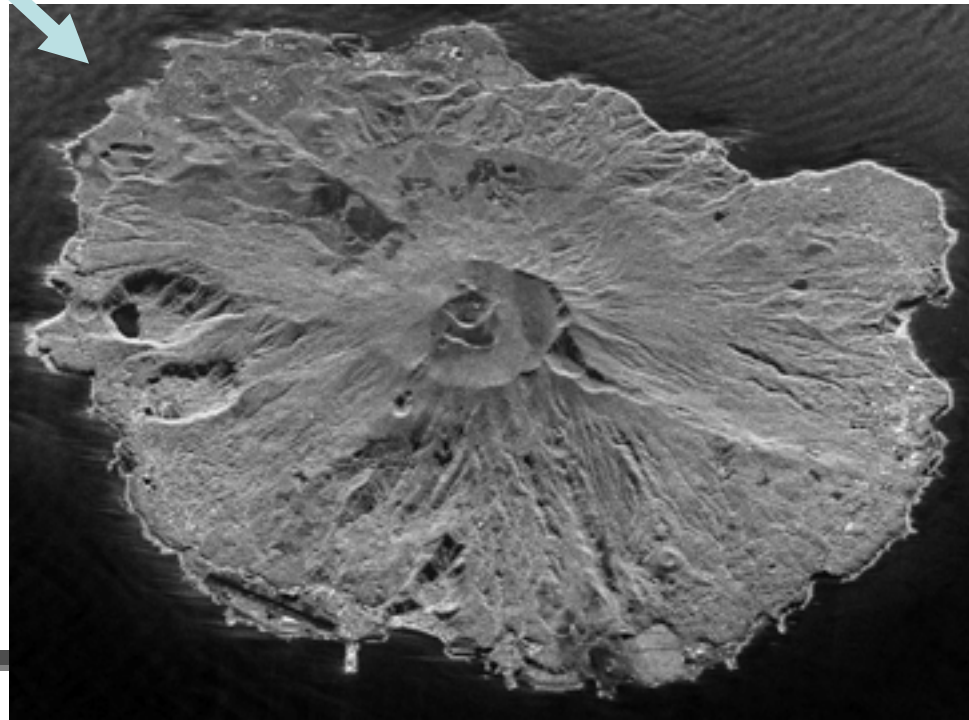
高分解能化



Radarsat : 5m



Pi-SAR:3m



森林樹高分布

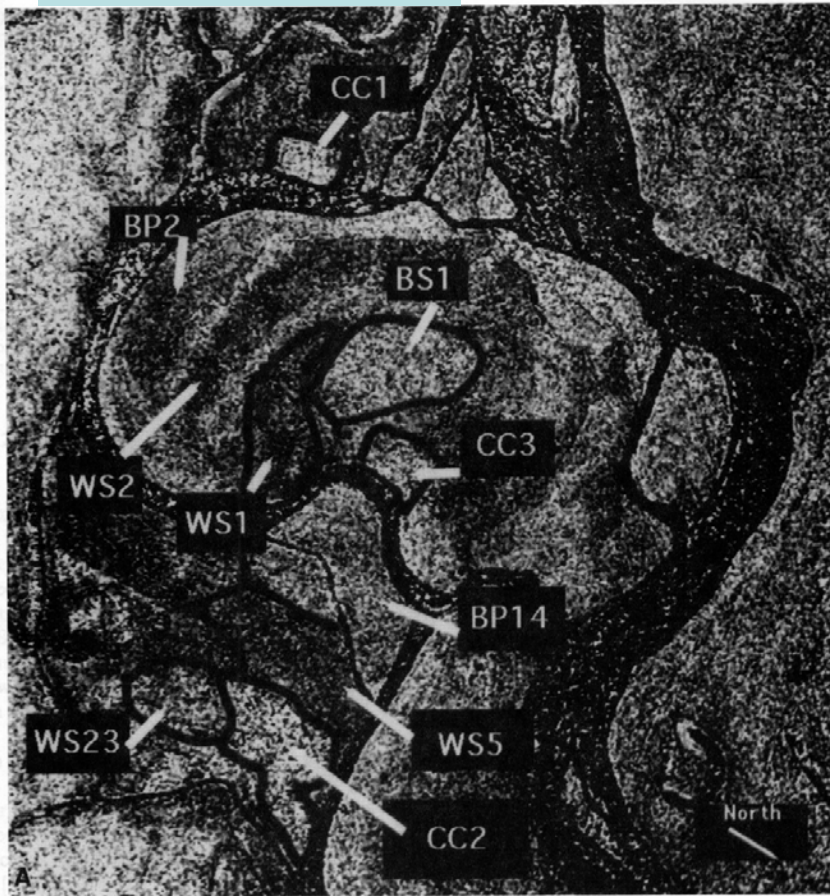


Figure 5a. An image of the measured normalized vegetation cross-correlation amplitude $|C_V|$ for Seven Mile and Willow Islands, the parts of the BCEF from which the data used in this demonstration were taken. The data from which this figure is derived were taken by the TOPSAR system, with a 40-MHz bandwidth and VV polarization, at incidence angles ranging from about 37° to 45° . Darker parts of the image represent lower $|C_V|$, which indicates a larger vertical extent of vegetation. WS7 is not shown in Figure 5a or 5b because it is a few kilometers away from the group of stands that are shown.

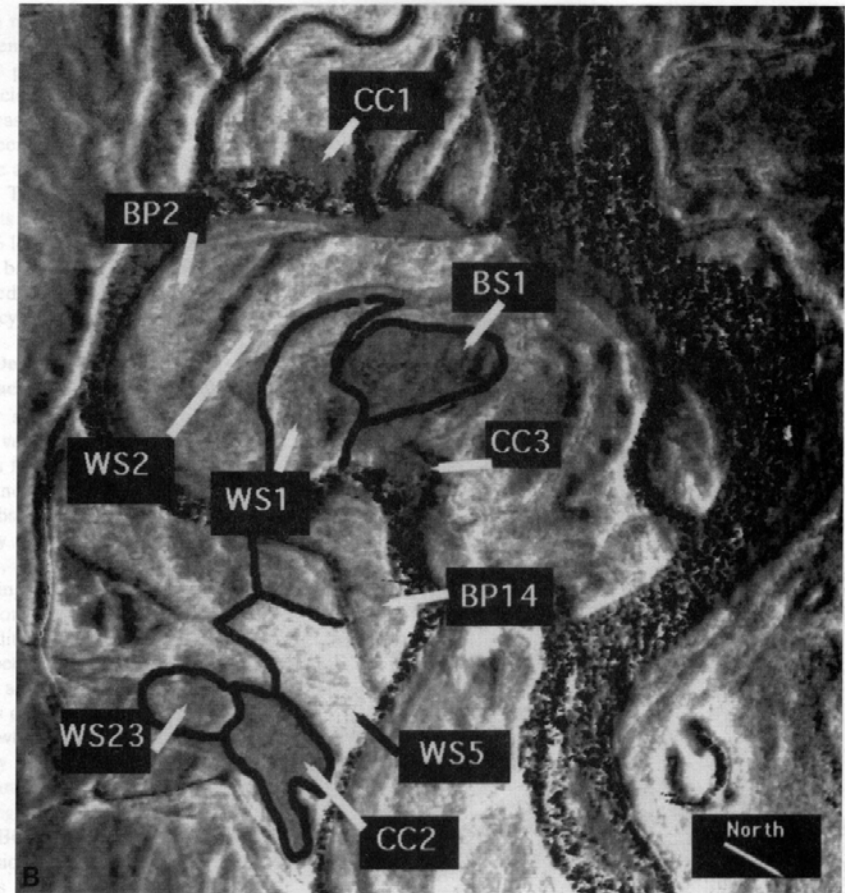


Figure 5b. An image of the measured altitudes derived from ϕ_{obs} using (2), that is, without correcting for vegetation effects. Brighter parts of the image represent higher measured altitudes, which are caused by the returns from vegetation.

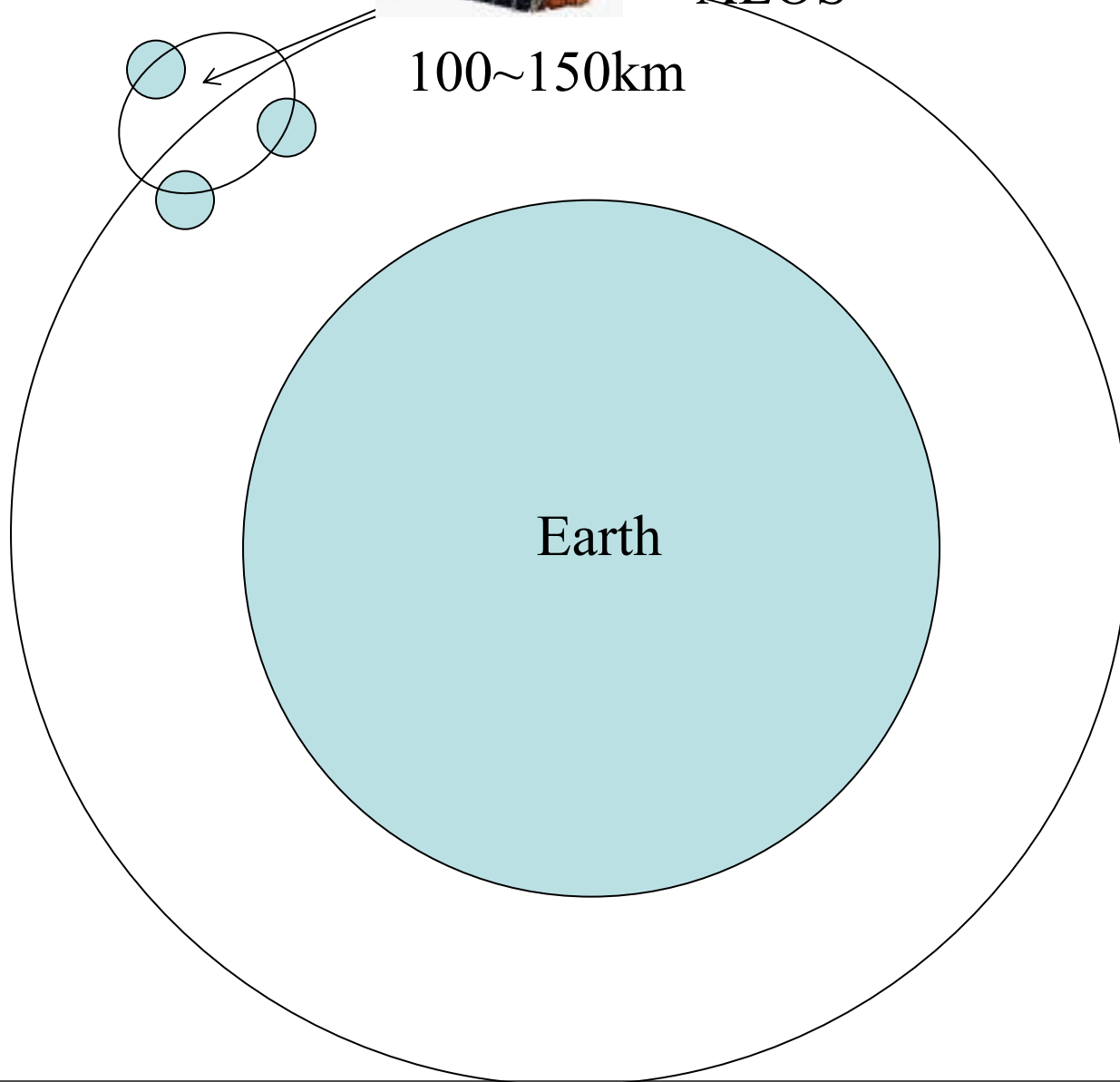
コヒーレンス

樹高

After: R.N. Treuhaft, et al., "Vegetation characteristics and underlying topography from interferometric radar," *Radio Science*, Vol. 31, No. 6, pp. 1449-1485, 1996

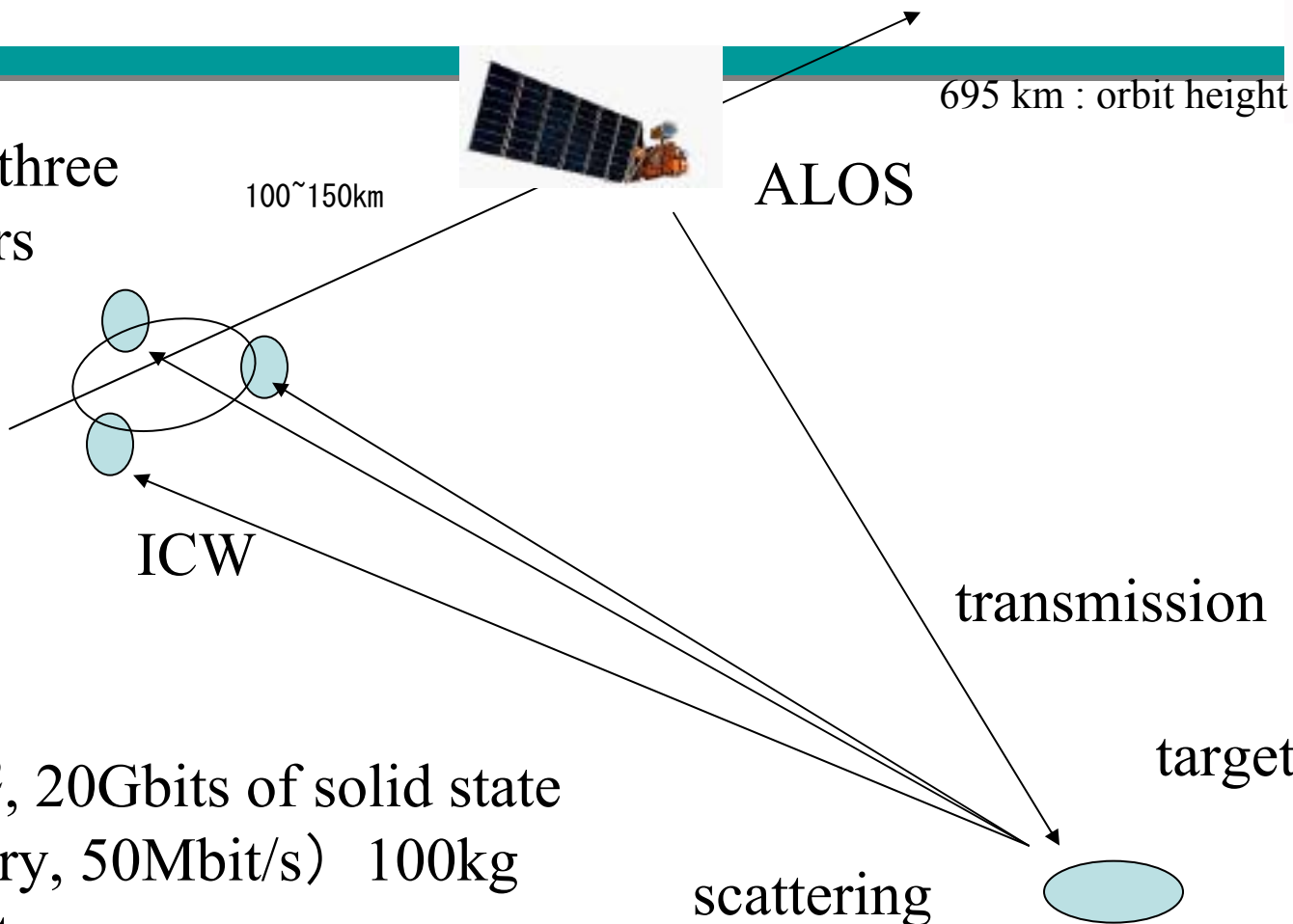


ALOS



InSAR

among three receivers



(4m², 20Gbits of solid state memory, 50Mbit/s) 100kg weight

1m ϕ : antenna

Why ICW ?

- 軌道の安定性が期待できる（ICWの連帯飛行）
- Vertical & horizontal baselineが安定である.
- 送信機が不要（もちろん、親の送信機は必要）
- 小型衛星で実用可能（4m²,20Gbits of solid state memory,50Mbit/s送信データ） 100kg
- 衛星本体の回転によりPALSAR照射領域と同期

運用制約（一軌道）
太陽電池で電力発生
観測時間
地上への送信

大部分の時間
1～3分
数分

4.1 example(ALOS)

100 k m程度後を飛行

45度のoff nadir角、帯域幅28MHzを想定

第一フェーズ：DEM作成

第二フェーズ：高分解能画像の作成

記録：30MHzのAD変換、160秒の記録

1mのDEM作成

4.2 ENVISAT

floating ice thickness, 10 cm accuracy

NASDAへの要求

特に明記していないが

- PALSARのポインティング角
- 運用計画
- 頻度は高くないがPALSAR画像

が求められる可能性有り

NASDAのメリット

NASDAで処理をしなくても

全球DEM (1m) の入手? → PRISMよりも良好
PRISMとの合成により
植物高 (バイオマス)

しかし、NASDAで処理をする場合には

処理技術の開発
超分解能 (スペクトラム合成)
アンビギュイティの除去
全球DEMの作成

技術的課題大きい

3. 新規点および問題点

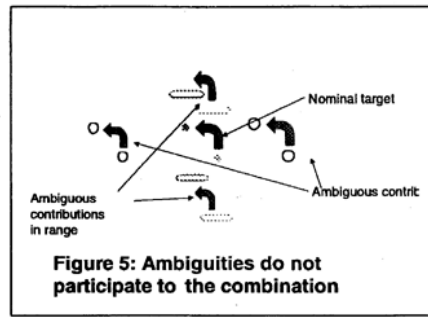
3.1 Ambiguity

3.2 Oscillator calibration

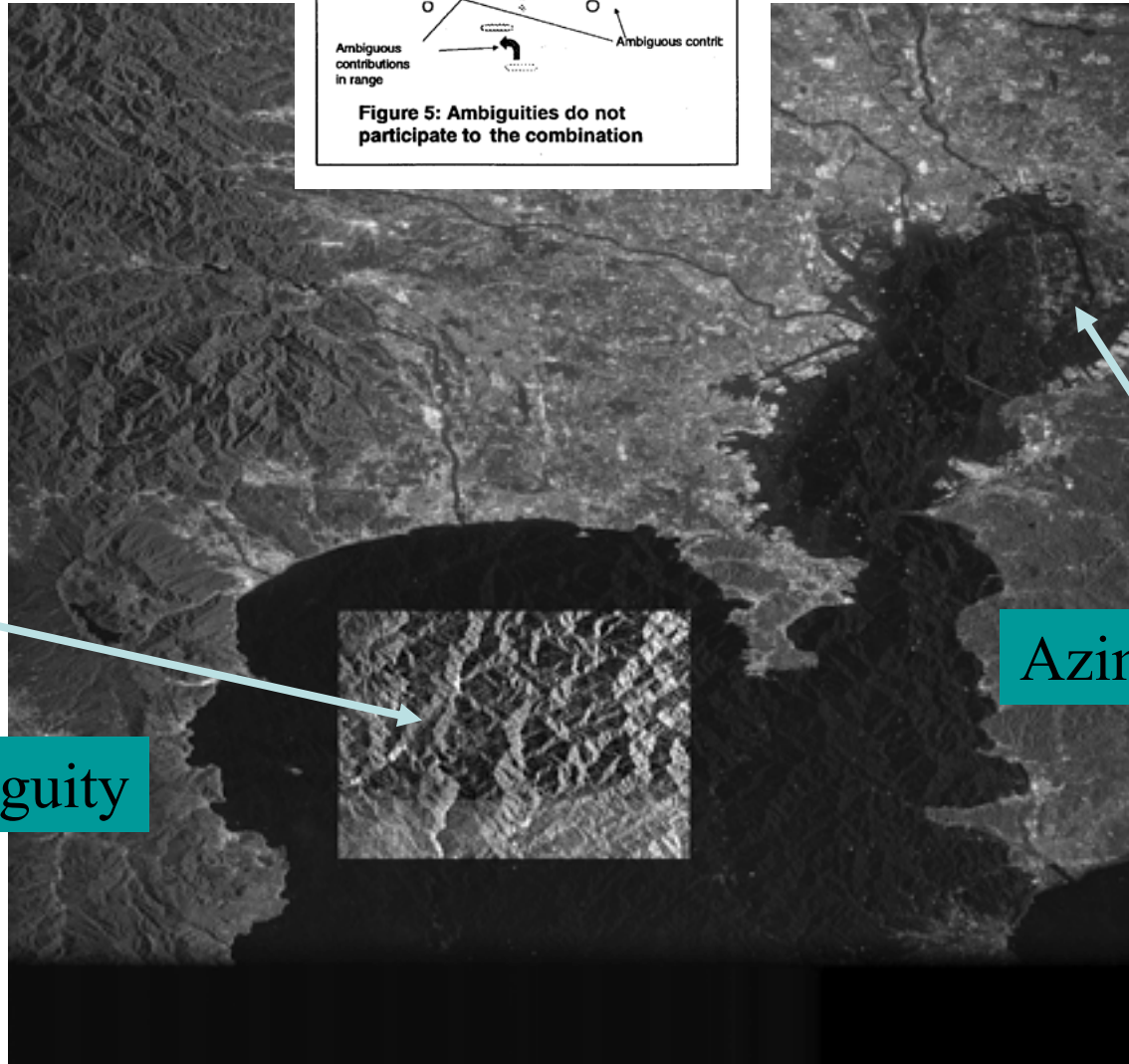
3.3 Geometric limitations

3.4 **Super resolution** (新規開発項目)

Ambiguity



S/C



Range ambiguity

Azimuth Ambiguity

Radarsat Image of Tokyo bay for seeking the oil slick by Tanker Diamond grace

コヒーレンス：干渉の度合いを示す指標

$$\gamma = \gamma_{space} \cdot \gamma_{SNR} \cdot \gamma_{temp} = \gamma_{space} \cdot \gamma_{SNR}$$

$$\gamma_{space} = 1 - \frac{2B_p \rho}{\lambda r \sin 2\theta}$$

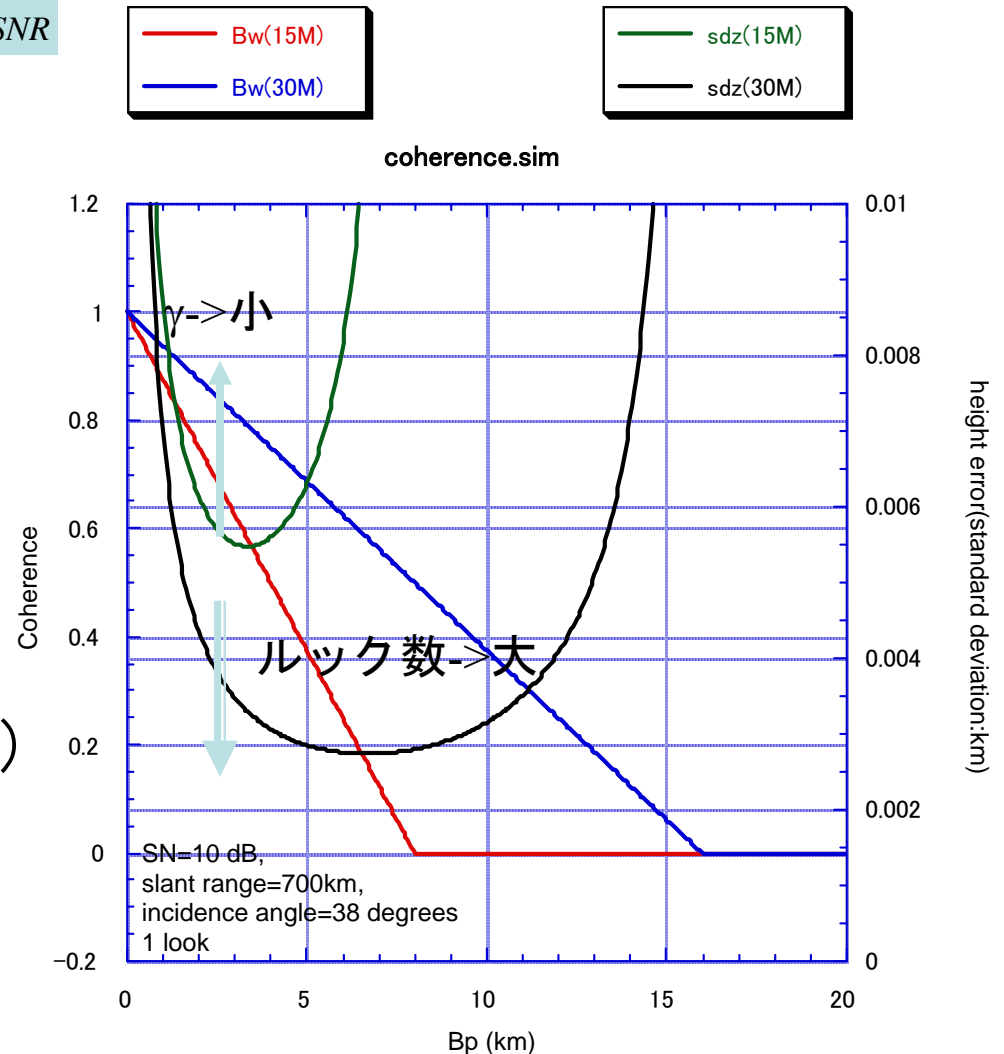
$$\gamma_{SN} = \frac{1}{1 + \frac{1}{SN}}$$

Bp: 基線長

ρ: 分解能 ($\frac{c}{2B_w}$)

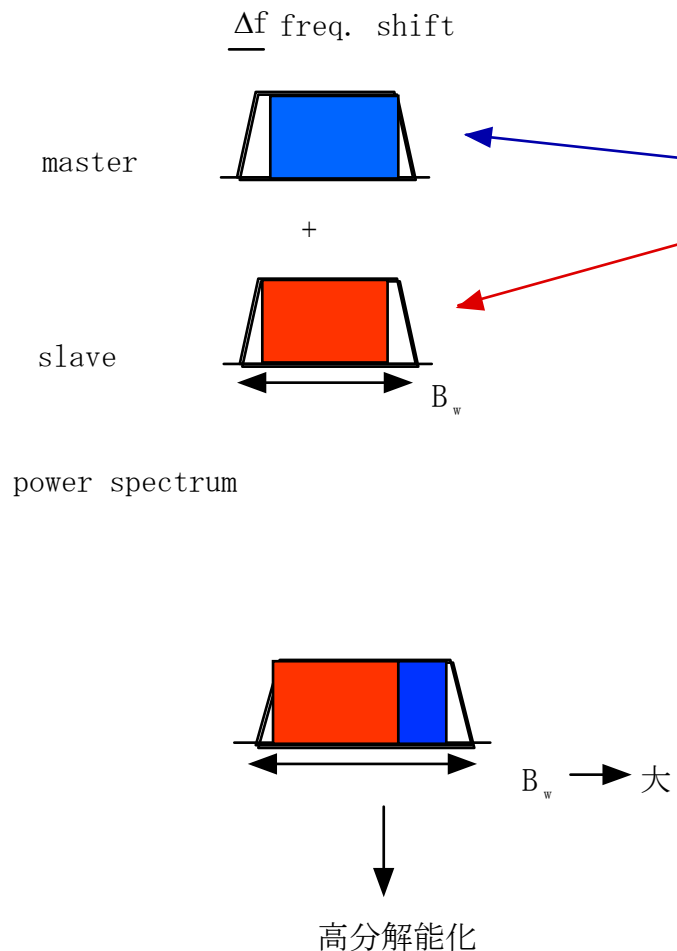
同時干渉計からでる高さ (z)

$$z = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{r \cdot \sin \theta}{B_p}$$

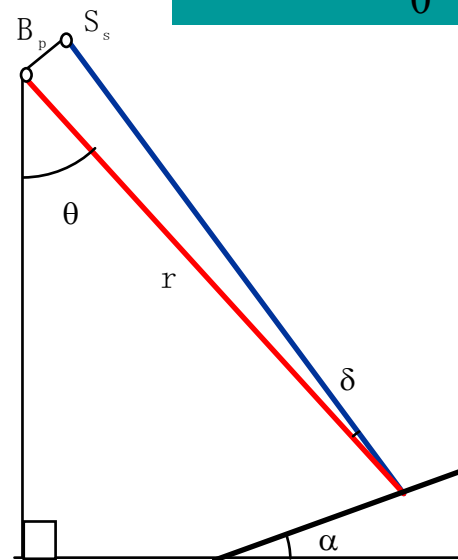


Super Synthesis

Difference of the look angle (δ) \rightarrow frequency change (Δf)

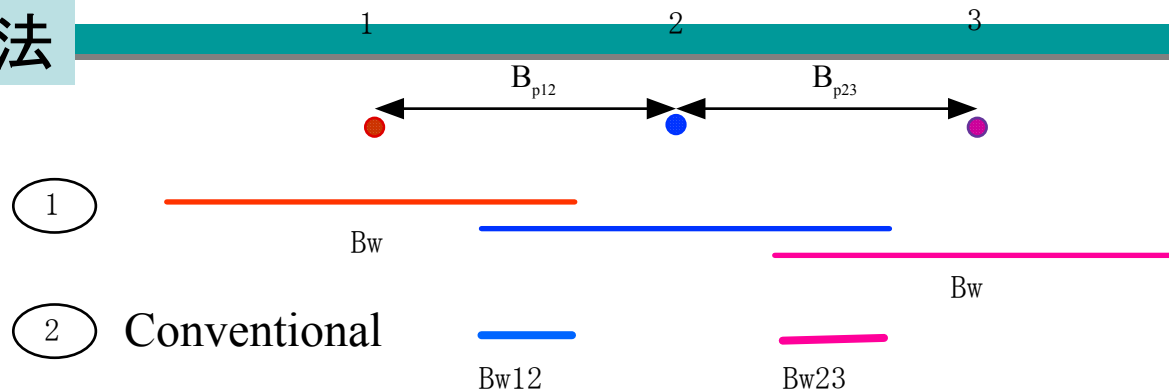


$$\Delta f = - \frac{c \cdot B_p}{r_0 \lambda \tan(\theta - \alpha)}$$

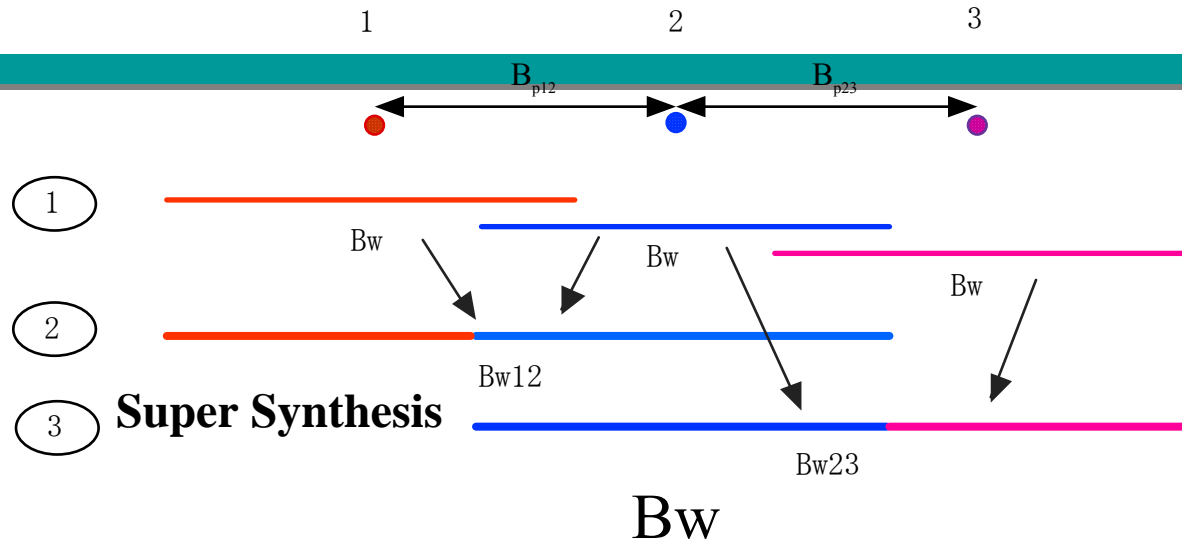


Ref : F Gatelli et al., "The Wave number shift in SAR Interferometry, IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing., Vol. 32, No. 4, pp.855-865, July.

従来の方法



通常の方法では、帯域幅は B_{w12} , B_{w23} しか確保できず、コヒーレンスが下がる。



周波数合成によって干渉後の帯域幅が B_w に増える。そして、コヒーレンスの劣化は防げる。また、高さ分解能は急激に改善される。

処理手順

- 1 : $S1+S2 \rightarrow S12$ 、 $S2+S3 \rightarrow S23$ (**Super synthesis**)
- 2 : $S12$ と $S23$ の干渉処理 (以下は、従来と同じ手法)