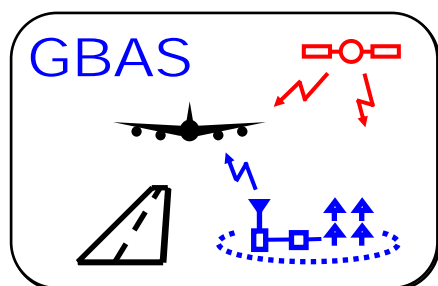


# GPS信号の異常と地上型補強システム (GBAS)の観測値品質モニタの検討



電子航法研究所  
通信・航法・監視領域



Electronic Navigation  
Research Institute

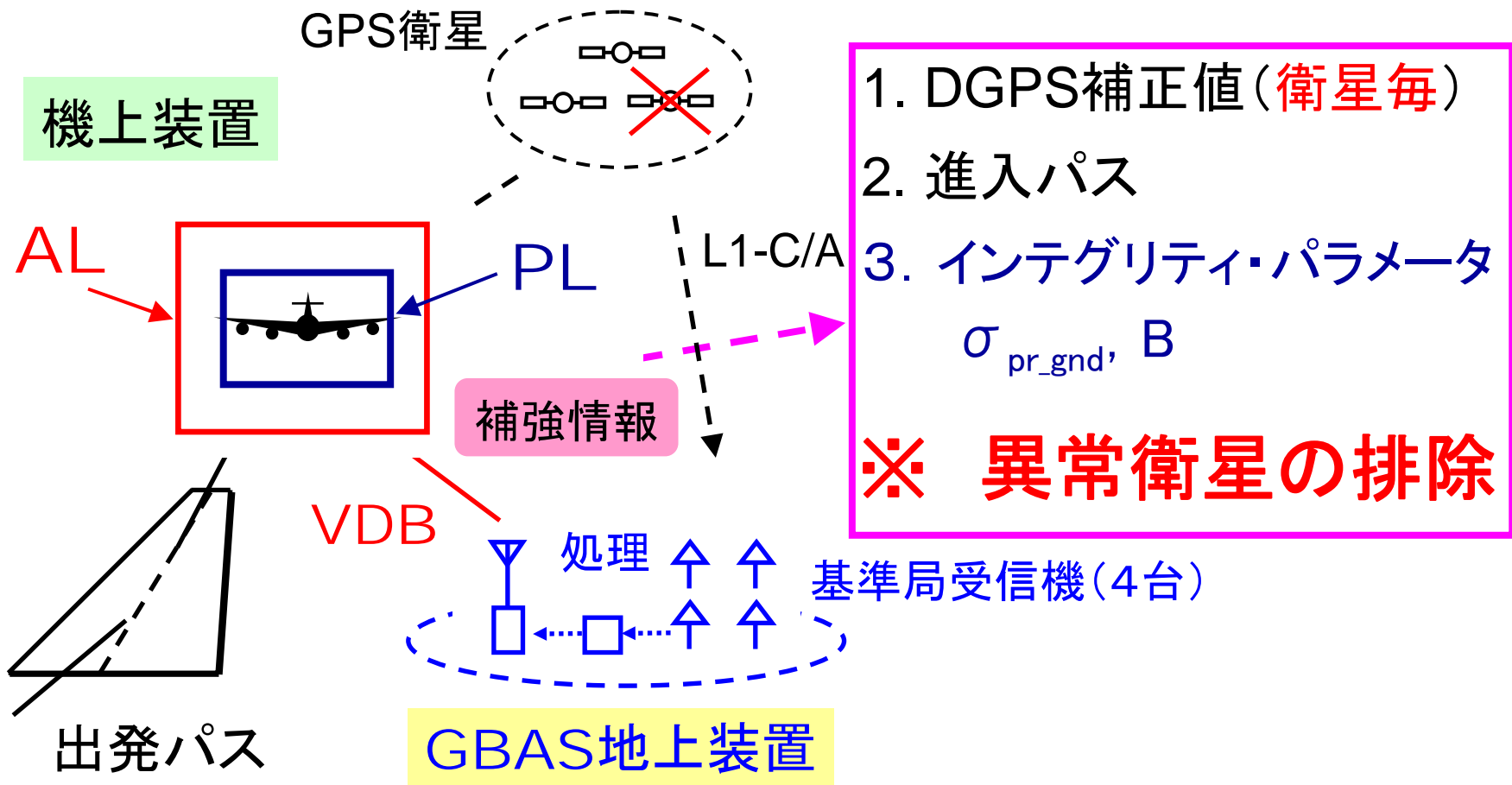
福島荘之介

第7回電子航法研究所研究発表会 2007.6.12

1. GBASのシステム概要と期待
2. 研究課題: GPS信号の異常とモニタ
3. 観測値品質モニタ (MQM) とオーババウンド法
4. MQM各モニタの検討結果 (仙台空港データ)
5. まとめ

# GBAS (地上型補強システム)とは？

1. 次世代の進入着陸システム (ILSの後継) **CAT-I~III**
2. ディファレンシャルGPS技術 ※B787, A380などで採用予定



## 特徴

1. ILSに比較して、地上障害物の影響が少ない→測位誤差が小
2. GBAS1式で複数R/Wへサービス可能(ヘリパットに高仰角経路)
3. 新しい経路設定が可能(直線, 曲線, オフセット, 進入復行, 出発)
4. 精密進入の他, ターミナル覆域でのRNAV運航が可能
5. 空港面運用に適用可能

## 期待

運用面の検討 → 今後明らかに...

■ 高い安全性を確保し, かつ, ILSよりコストメリットが向上

- ・ ILSの設置されていない進入(地形) → 精密進入経路を新設
- ・ 先進的な経路
  - 運航の効率性の向上(燃料消費)
  - 空港容量の増大に寄与(遅延の減少)
  - 騒音問題の緩和

## CAT-I: 要件 (SARPs)

● 精度	垂直 : 4.0 m (95%)
▲ インテグリティ (完全性)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ / approach
▲ コンティニューイティ (連続性)	$1 - 8 \times 10^{-6}$ / any 15 s
▲ アベイラビリティ (有効性)	99 ~ 99.999 %

TTA: 6秒

◆ 従来研究: 測位誤差は, 要求値より十分小さい  
→ ENRI 飛行実験結果 (垂直95%: 1.0 m以下)

◆ 現在は: インテグリティなど信頼性要件の研究が課題

□ 要求値を満足する設計手法, 検証方法の確立

▲ ソフトウェア: know-how → パッケージ化

設計段階

1. GPS衛星の故障(不具合)
2. 大気圏(電離層, 対流圏)による伝搬信号の異常
3. 地上システムの故障

## 脅威モデル

## 本研究の対象

- (1) GPS信号の電力低下
- (2) コード・搬送波ダイバージェンスの増大
- (3) 擬似距離の加速度過剰
- (4) 放送暦異常
- (5) 電離層遅延量の異常勾配
- (6) 信号歪み(SV19問題)

## (1) GPS信号の電力低下

- ◆ 衛星のLバンド送信系, 姿勢制御系, 電源系, 太陽電池パドル系の故障

## (2) コード・搬送波ダイバージェンスの増大

- ◆ 衛星の信号生成系(原子時計タイムキーピング)の不具合
- ◆ 電離層異常によるRPNコードと搬送波の伝搬速度の不一致

## (3) 擬似距離の加速度過剰

- ◆ 衛星の原子時計の異常(加熱による性能劣化:1999.7, 寿命末期による性能劣化:1999.8)

※ ただし, バイアス的に周期の遅いドリフトはDGPSで補正されるので問題ない. 急峻な変化, 加速度的な変化が**危険な状態(HMI)**となる可能性

## ◆ 使われる分野:

セキュリティー分野 (軍事, テロ, 伝染病, ネットワーク), 資産運用

## ◆ 一般的な定義:

**脅威:** (システムにとって) 好まれない事象全て

**リスク:** 脅威によって危険や損失が生じる可能性

## ◆ 例文:

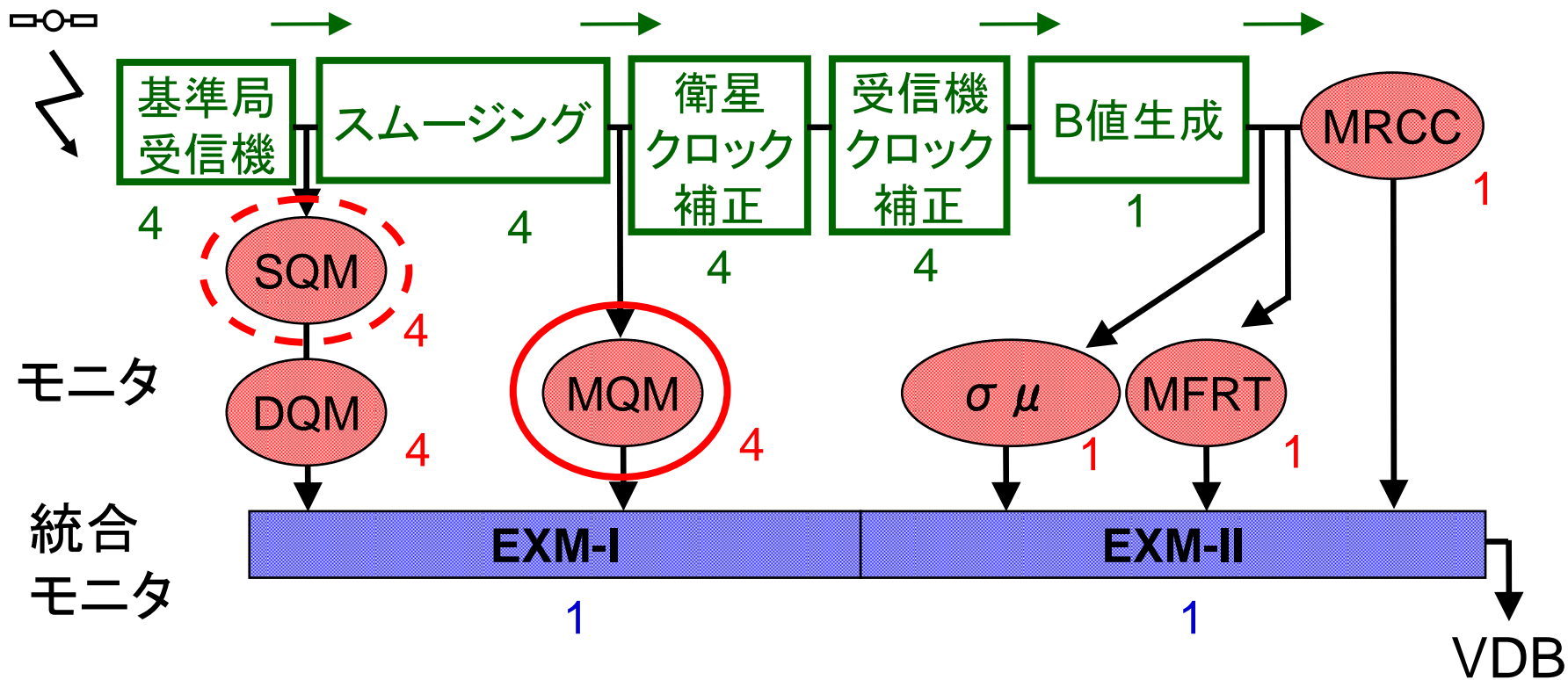
人間にとって, 風邪のウイルスは**脅威**であるが, 必ず風邪の症状がでる訳でなく, 健康な人より, 赤ちゃんやお年寄りの**リスク**が高い。

## ◆ 同時に使われる言葉: **脆弱性**, **対抗策**



## ■ インテグリティ・モニタ・テストベツト IMT

### 観測データの流れとインテグリティ・モニタ



## 検定統計量のしきい値による判定 → オーババウンド法

1.  $C/N_0$ の検定 SQM
2. コード・搬送波ダイバージェンスの検定 MQM
3. 搬送波位相の加速度・ランプ・ステップ変化の検定
4. 擬似距離の変化の検定 MQM MQM



エグゼクティブモニタに結果を送り, 4台を比較し判定

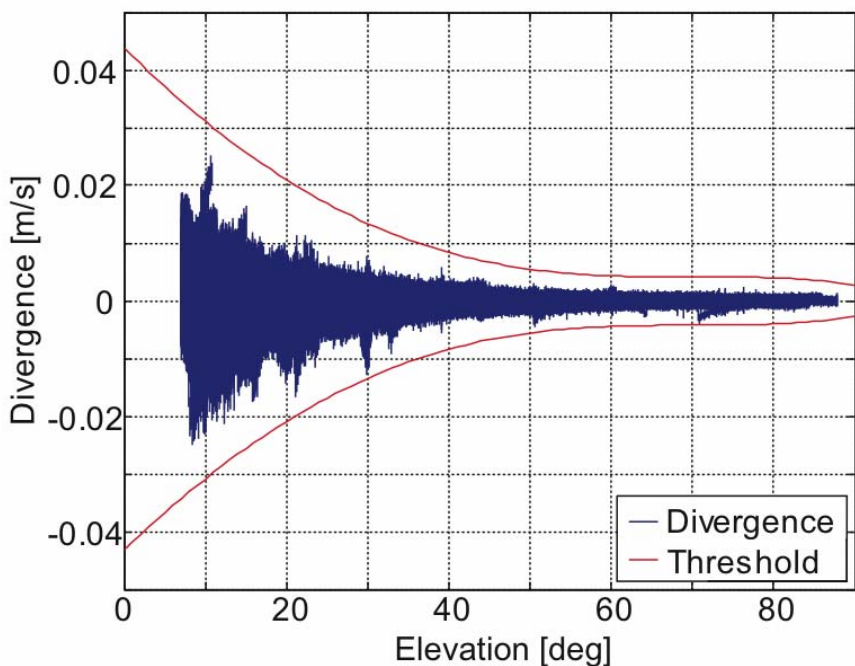


衛星排除(フィルタのリセット)

## 例: 2. コード・搬送波ダイバージェンスの検定

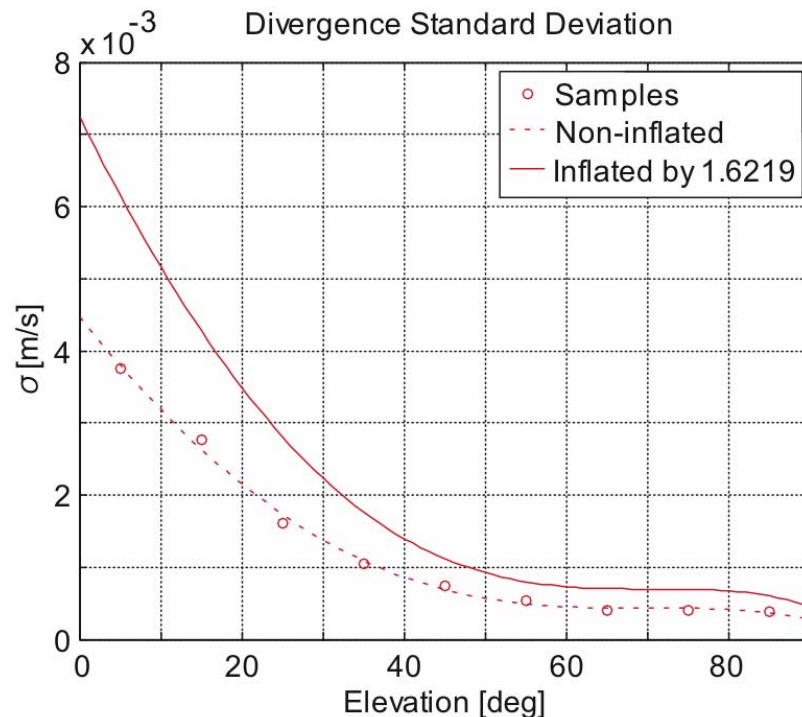
ダイバージェンス → コードと搬送波位相の差の移動平均

Divergence and Threshold

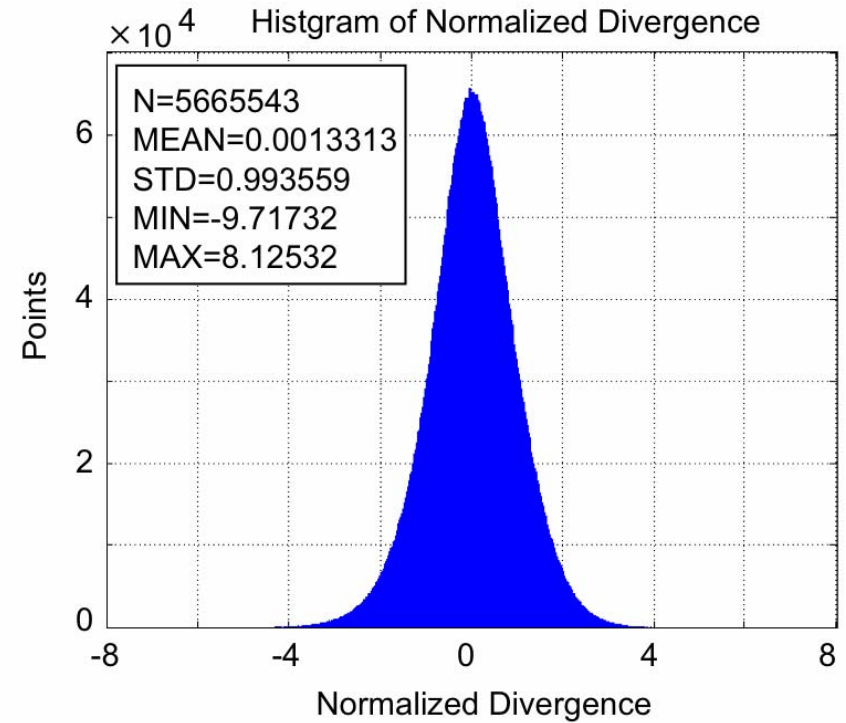
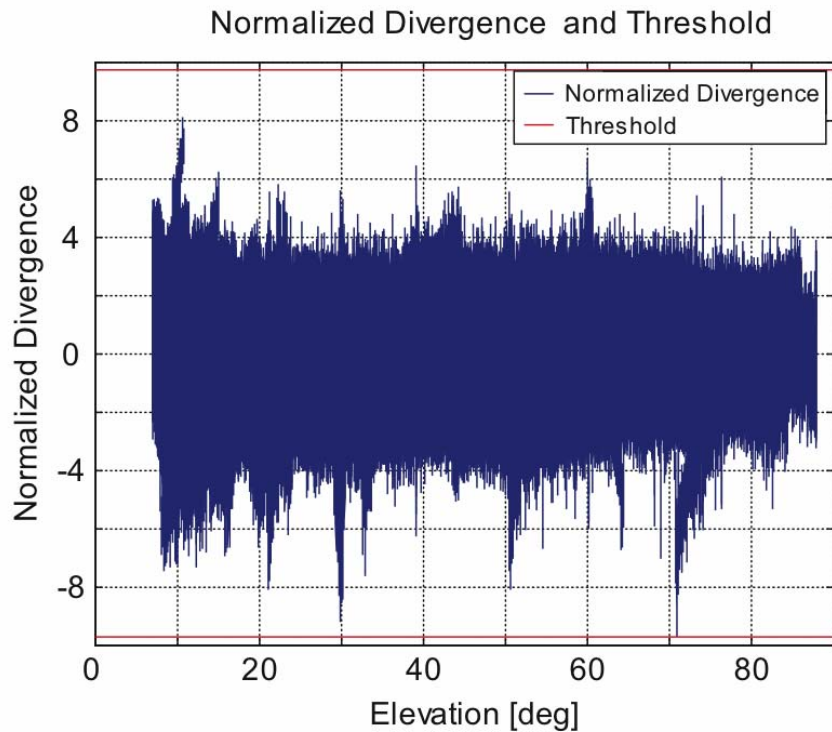


◆ 仰角依存性

Divergence Standard Deviation



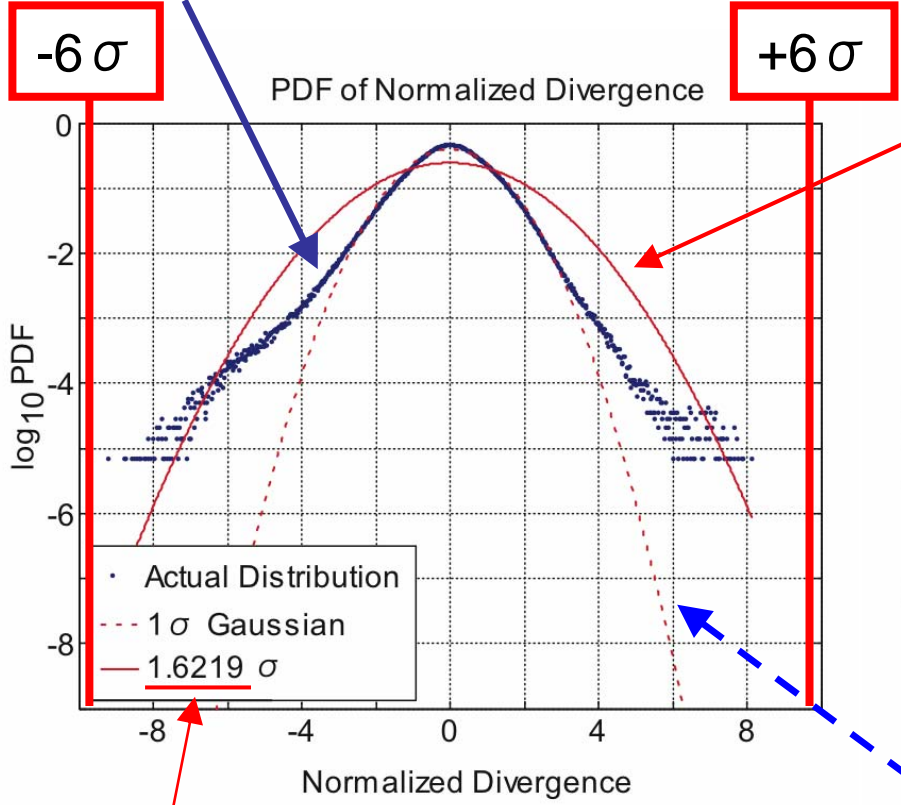
◆ 区間毎の  $\sigma$  を計算



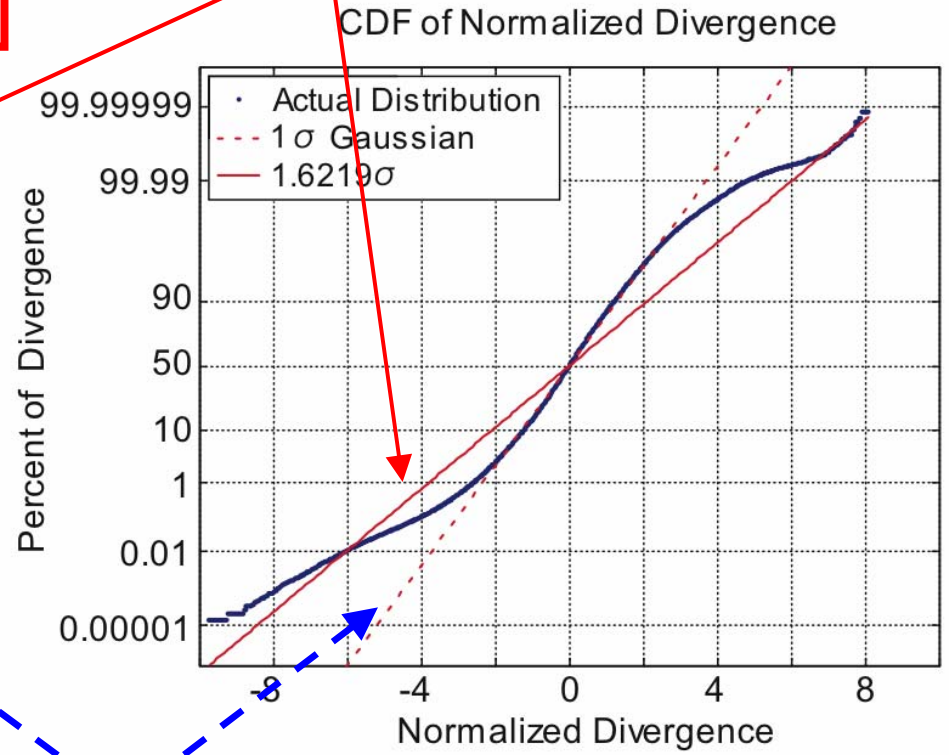
◆ 正規化

◆ ヒストグラム

## ガウス分布のコア + 指数分布のテール



## オーババウンド分布



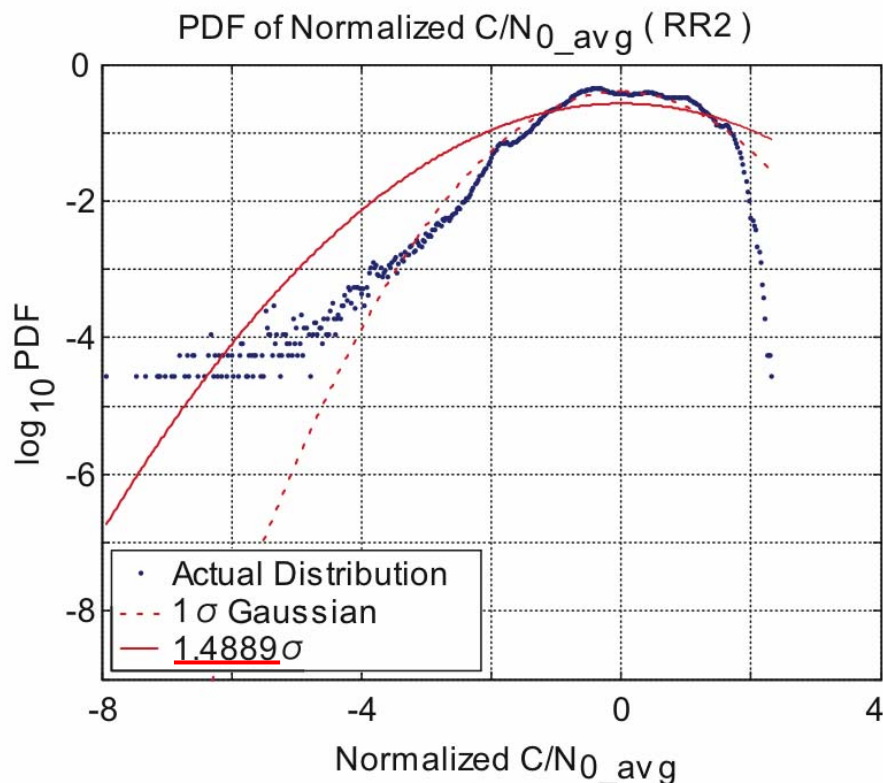
インフレーション・ファクタ  $f$

1  $\sigma$  のガウス分布

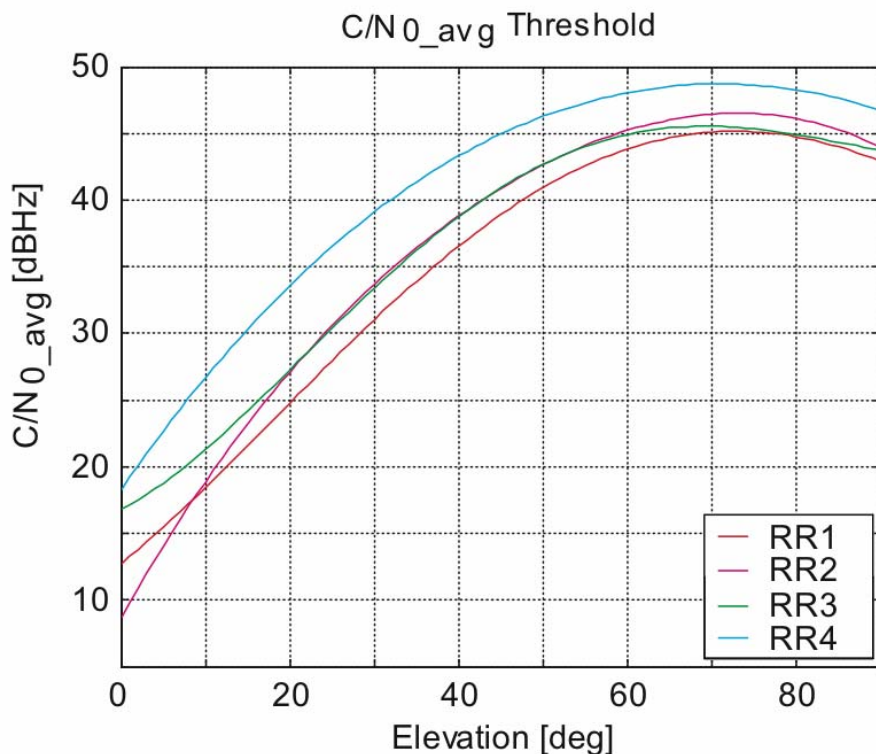
◆ 確率密度関数

◆ 累積密度関数

## 1. $C/N_0$ の検定 → 同様にオーババウンド法を適用



◆ No.2受信機  
確率密度分布

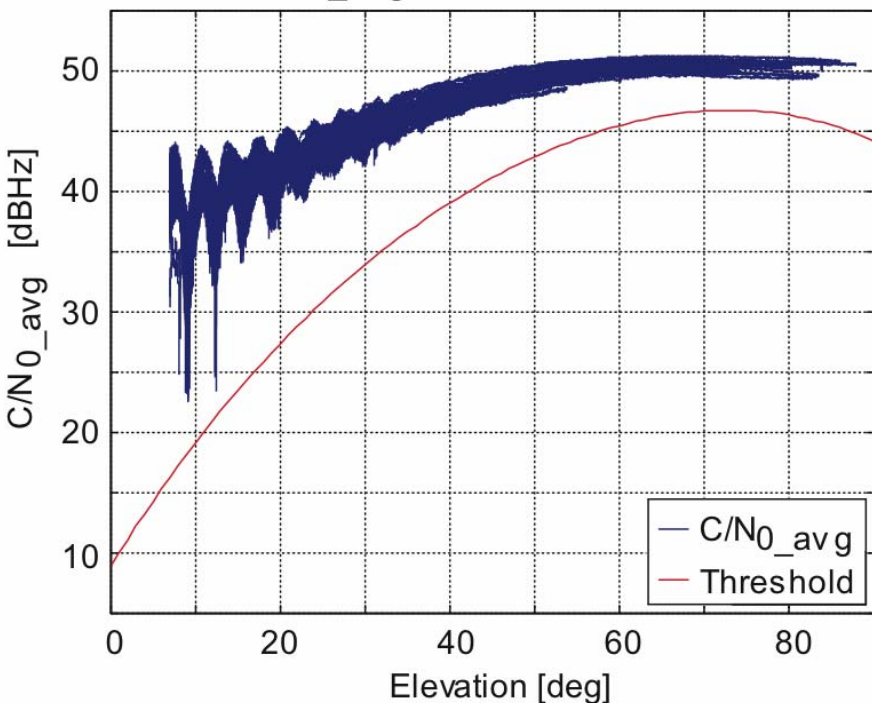


◆ No.1~4 受信機の  
しきい値



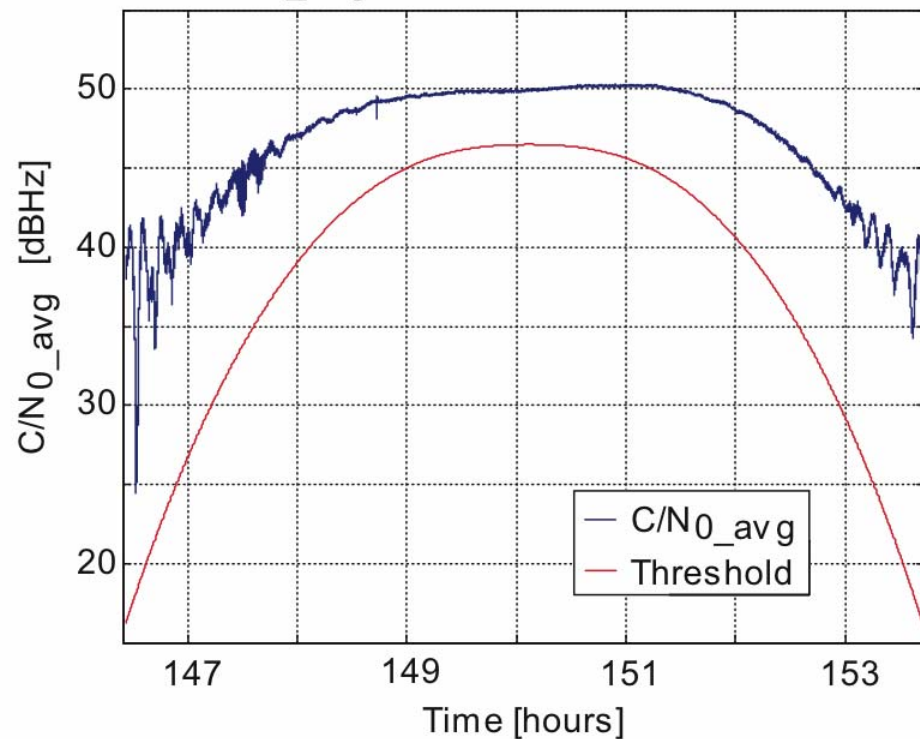
## 1. $C/N_0$ の検定

$C/N_0_{avg}$  and Threshold (RR2)



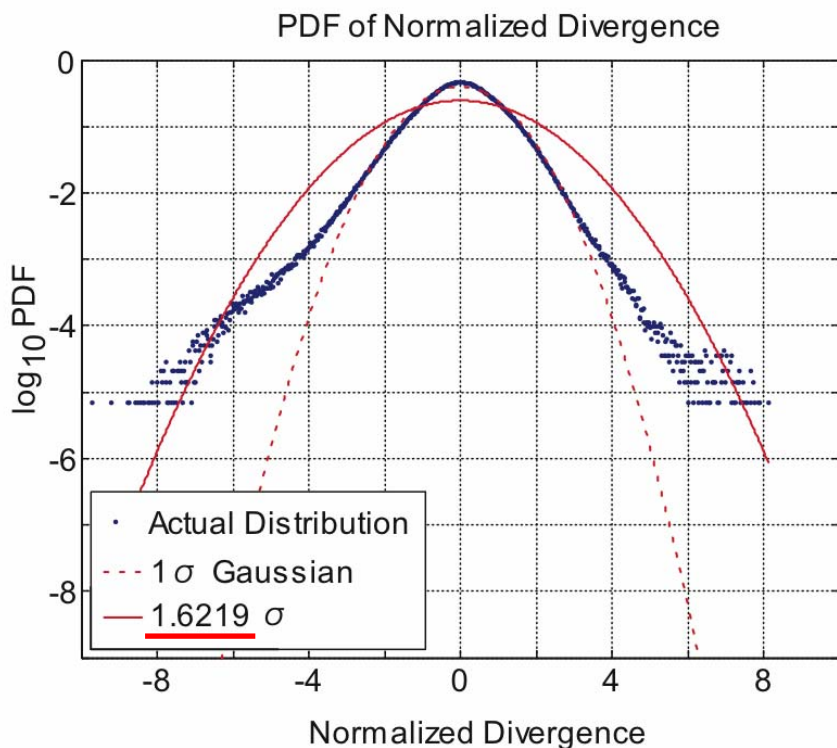
◆ EL角との関係

$C/N_0_{avg}$  and Threshold (RR2, PRN16)

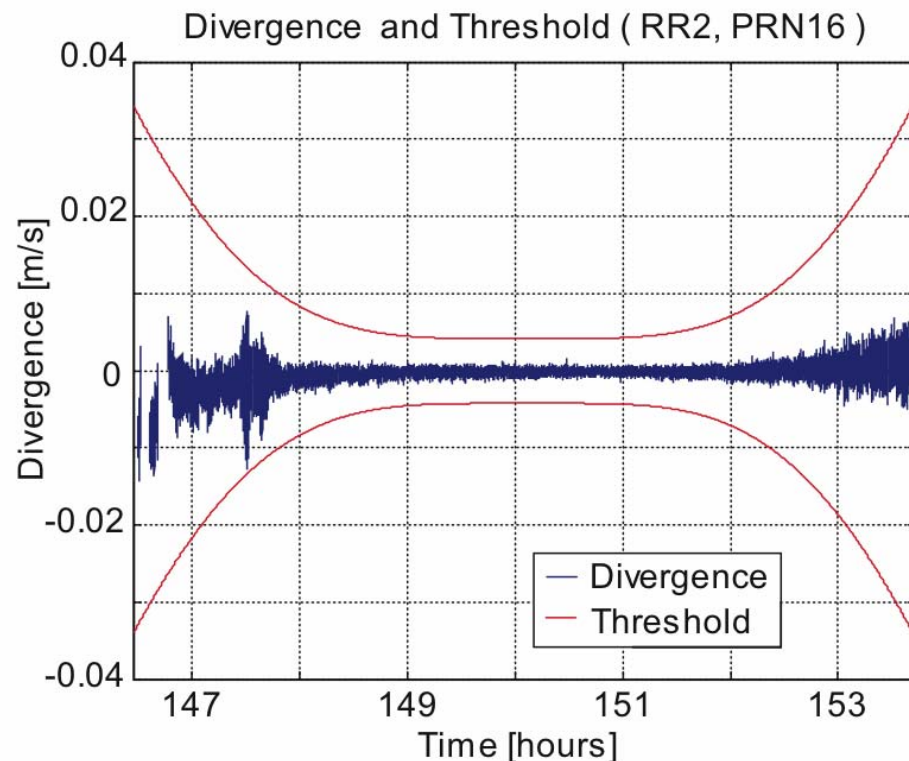


◆ 時系列(RR2, PRN16)

## 2. ダイバージェンス



◆ 確率密度関数

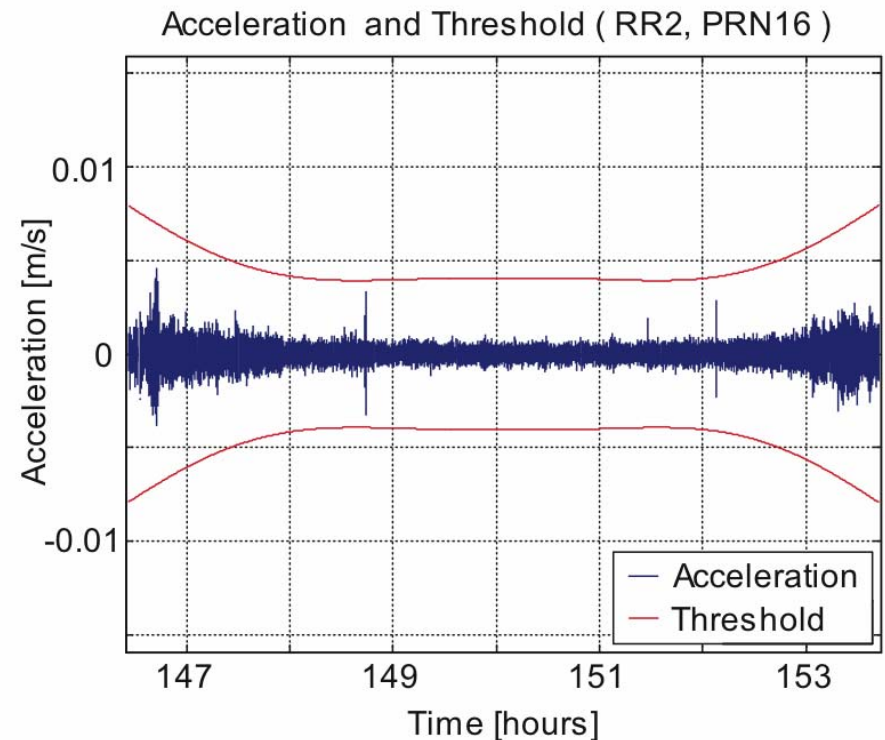
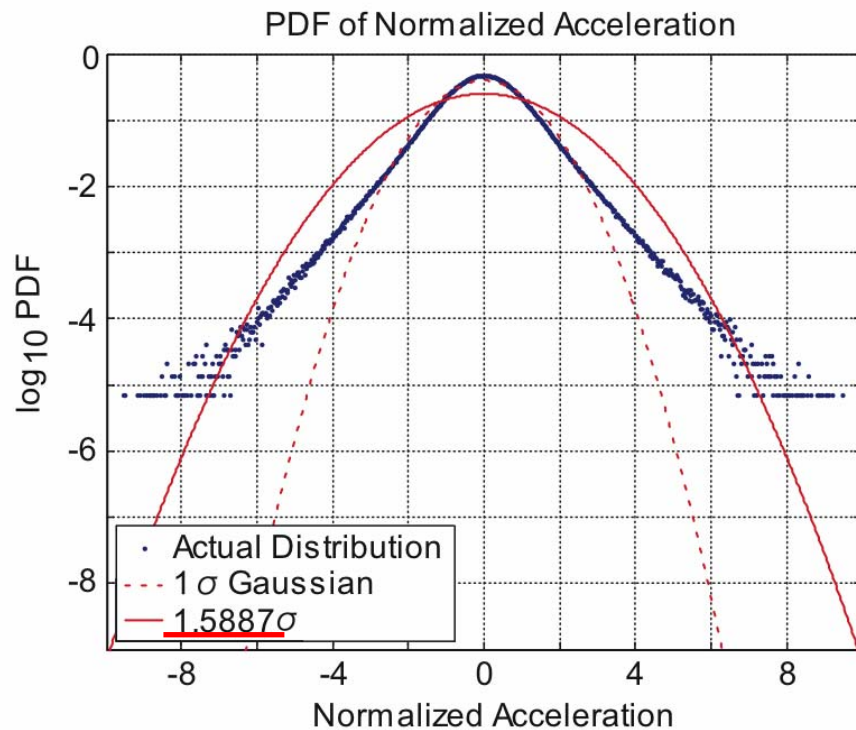


◆ 時系列 (RR2, PRN16)



## 3. 搬送波位相の**加速度**・ランプ・ステップの検定

→ 現在時刻前の10エポックを2次近似(係数)

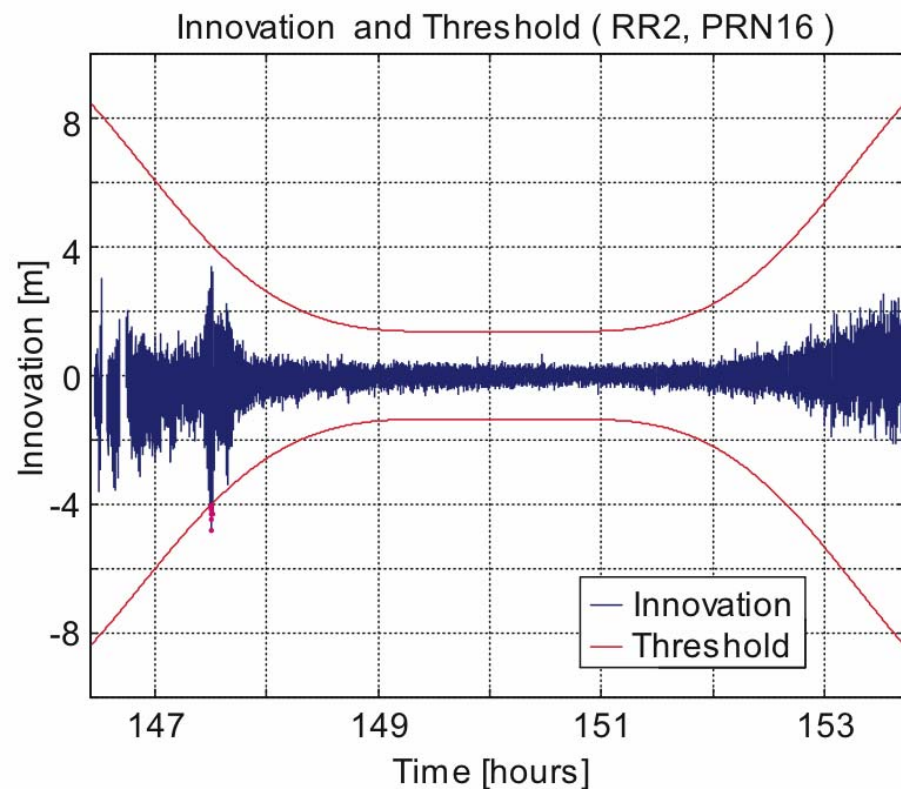
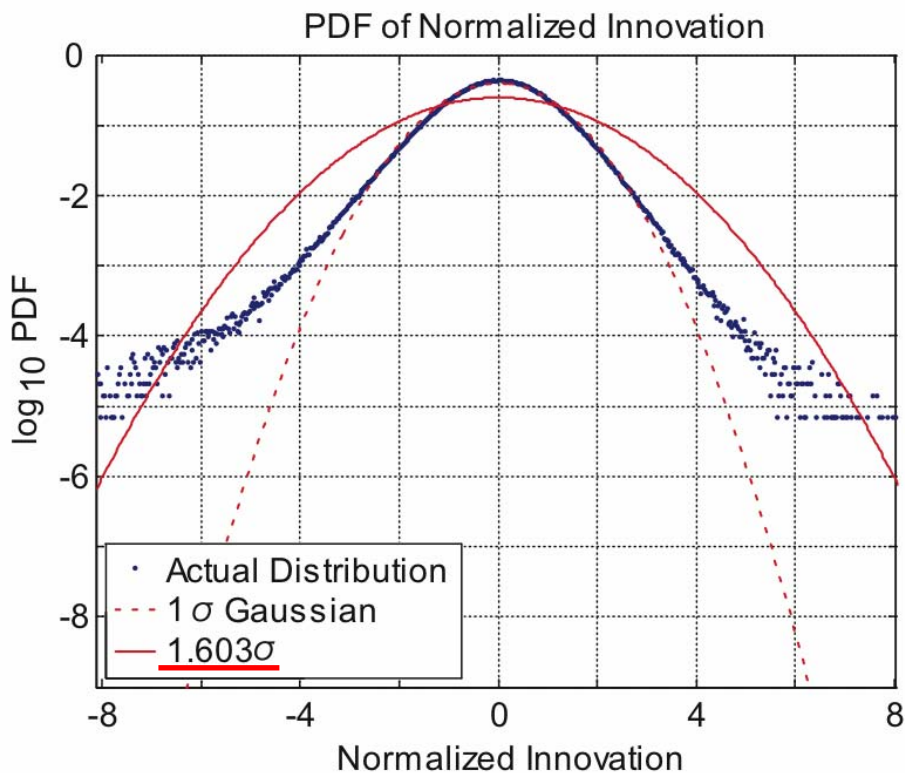


◆ 確率密度関数

◆ 時系列(RR2, PRN16)

## 4. 擬似距離変化の検定

→ スムージングする前の擬似距離の過大変化を検出



◆ 確率密度関数

◆ 時系列 (RR2, PRN16)

- ◆ GPS信号異常の脅威モデル(1)~(3)について、  
IMTのMQMのモニタアルゴリズムを検討  
(仙台空港:1日の正常データ)

1. 各検定統計量は混合分布  
(ガウス分布のコア+指数分布テール)
2.  $f$ は1.5~1.7:IMTと同等
3. オーババウンド法によりしきい値を決定

(1, 2で $C/N_0$ は除く)

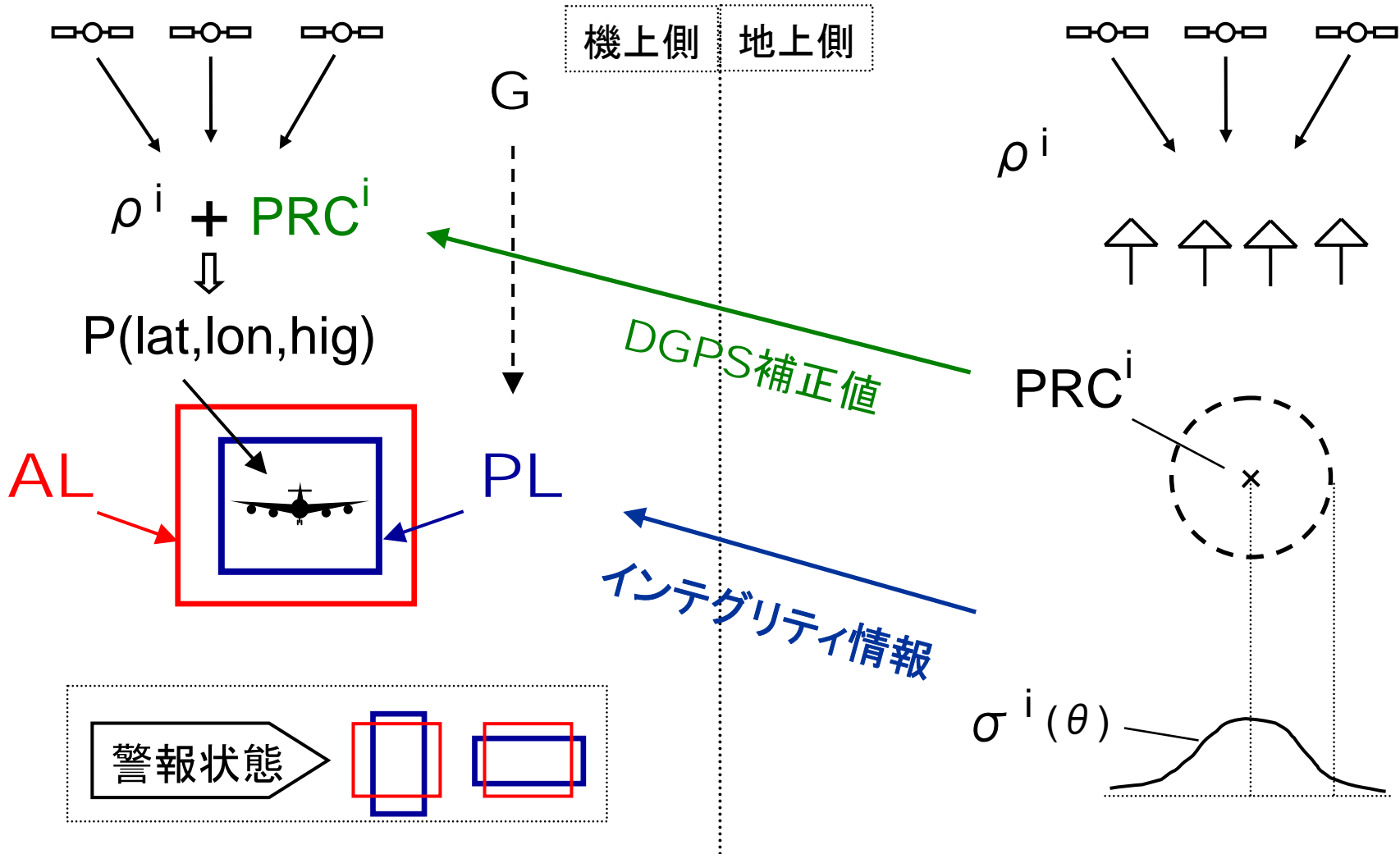
1. GBASのシステム概要, 期待, 研究課題
2. 脅威モデルと原因
3. インテグリティ・モニタ・テストベット (IMT)
4. MQM(観測値品質モニタ)の検討

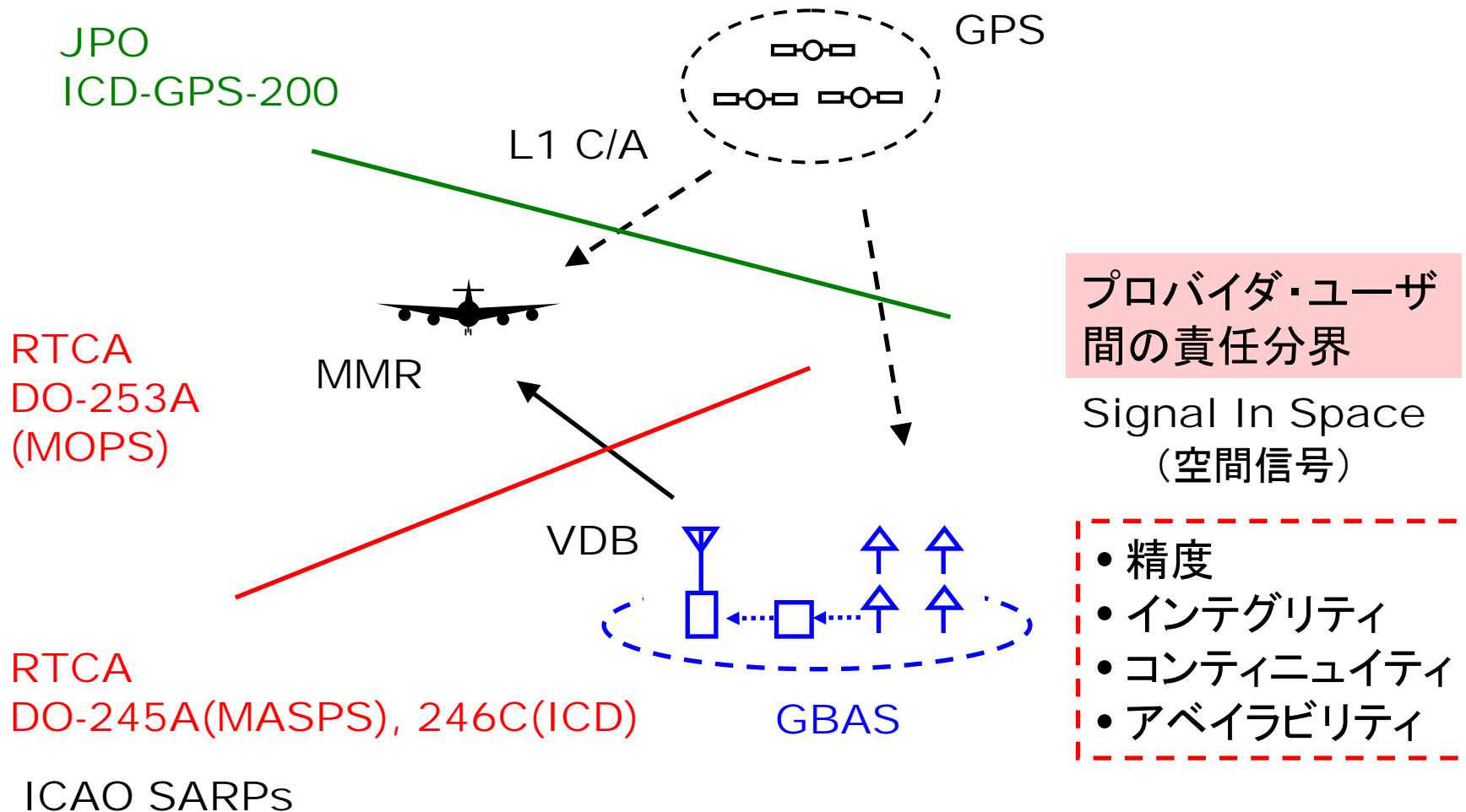
## 今後の課題

1. EXMの検討
2. IMTの他モニタ(MRCC,  $\sigma - \mu$  モニタ)を検討
3. 異常データによる検討

# Backup Slide

## 警報発出の方法：保護レベル(PL)





FAA CAT-I LAAS Ground Facility Specification