

電子航法研究所発表会 2014年6月

# GNSS障害時の代替システムの動向

June 6, 2014

毛塚 敦

Atsushi Kezuka

吉原貴之

Takayuki Yoshihara

斎藤享

Susumu Saito



独立行政法人 電子航法研究所  
Electronic Navigation Research Institute

- 航空航法におけるGNSS障害の要因
- 代替システム構築における諸外国・ICAOでの動き
- DMEを用いた代替システムにおける測距誤差シミュレーション
- まとめ、今後の予定



Homeland Security Presidential Directive-7, The White House, 2003



GNSS: reliance and vulnerabilities, The Royal Academy of Engineering, London, 2011

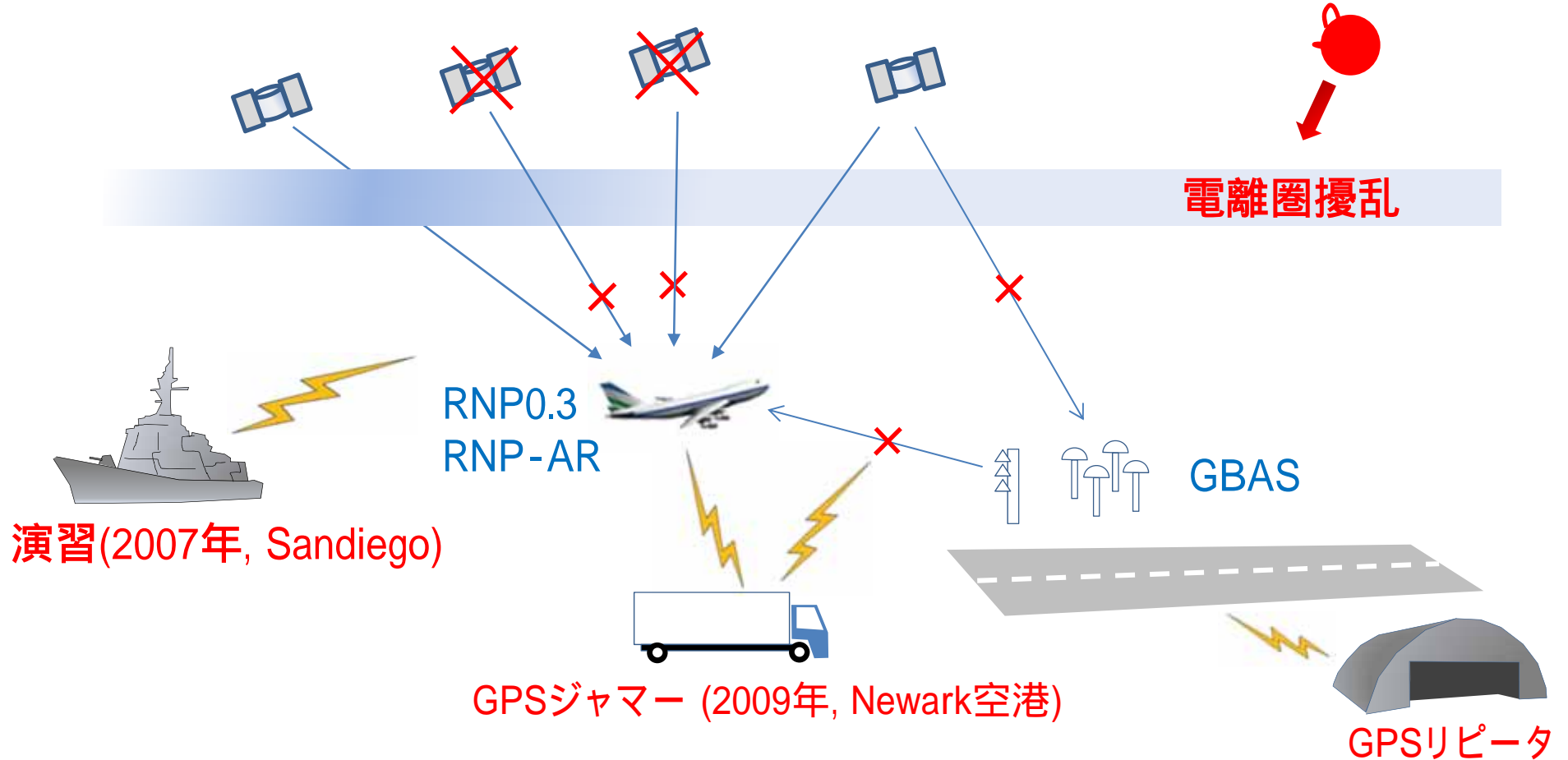


内閣官房宇宙開発戦略本部, "GPSはじめ他国の測位衛星が使用不可能になるケースに関する考え方", 2010

# 航空航法におけるGNSS障害例

システム障害(2014年, GLONASS衛星)

太陽フレア(電波バースト)



GNSS障害時でも安全で効率的な運航を維持するために代替システム(APNT)が必要

APNT: Alternate Position, Navigation, and Timing

# APNT構築に向けた動き

## 米国

2025年までの交通量の倍増に対しPBN, ADS-B, TBO, RNAV, CSPOをGPSにより可能にする (FAA APNT白書2012)

### FAAのマイルストーン

- Concept Requirements Definition in FY 2011
- Initial Investment Analysis Approval by FY 2014
- Final Investment Analysis Approval by FY 2016
- Solution Implementation Starting in FY 2017
- Subsequent In-Service Management

目標 測位精度	Navigation		Surveillance		
	Accuracy(95%)	Containment( $10^{-7}$ )	Separation	NAC (95%)	NIC ( $10^{-7}$ )
En Route	4 NM	8 NM	5 NM	92.6 m	0.2 NM
	2 NM	4 NM			
Terminal	1 NM	2 NM	3 NM	92.6 m	0.2 NM
LNAV	0.3 NM	0.6 NM			

## 欧州

DLR(ドイツ航空宇宙センター)によるLDACS-NAV開発

## ICAO

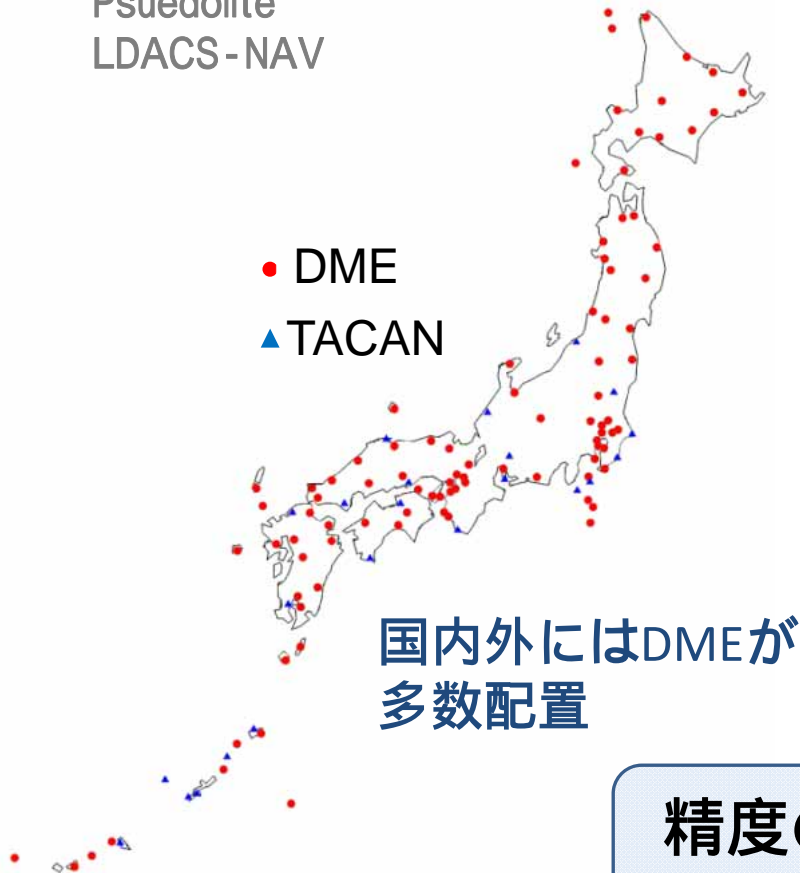
航法委員会(ANC)によって、APNTがNSP (航法システムパネル)のジョブカードの一つに割り当てられる

# DMEによる代替システム(APNT)

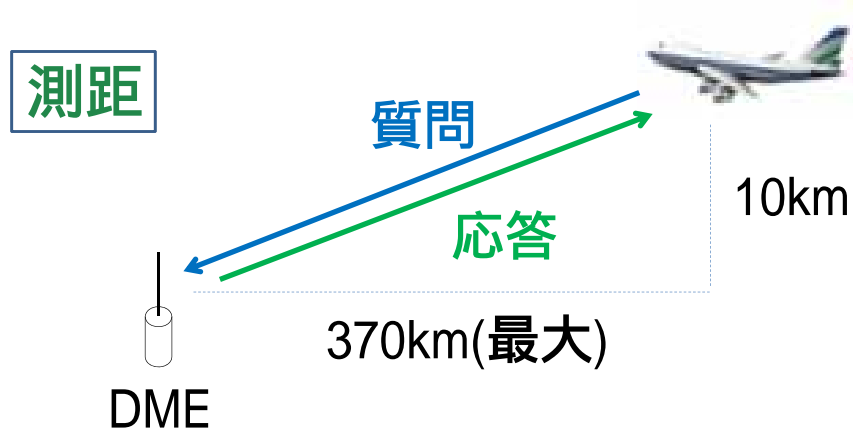
## 代替システム候補

### DME(測距装置)

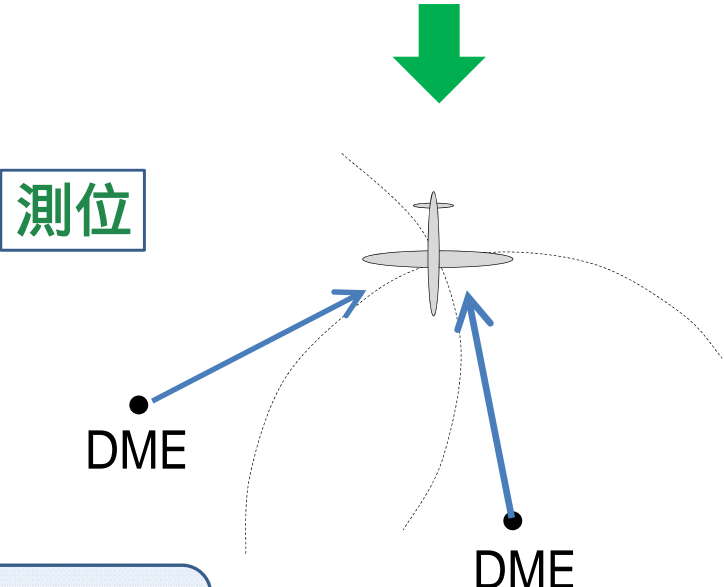
WAM  
Psuedolite  
LDACS-NAV



### 測距



### 測位



**精度の改善が必要**  
(DME/DMEはRNP0.3不可)

# WAMによる代替システム(APNT)

## 代替システム候補

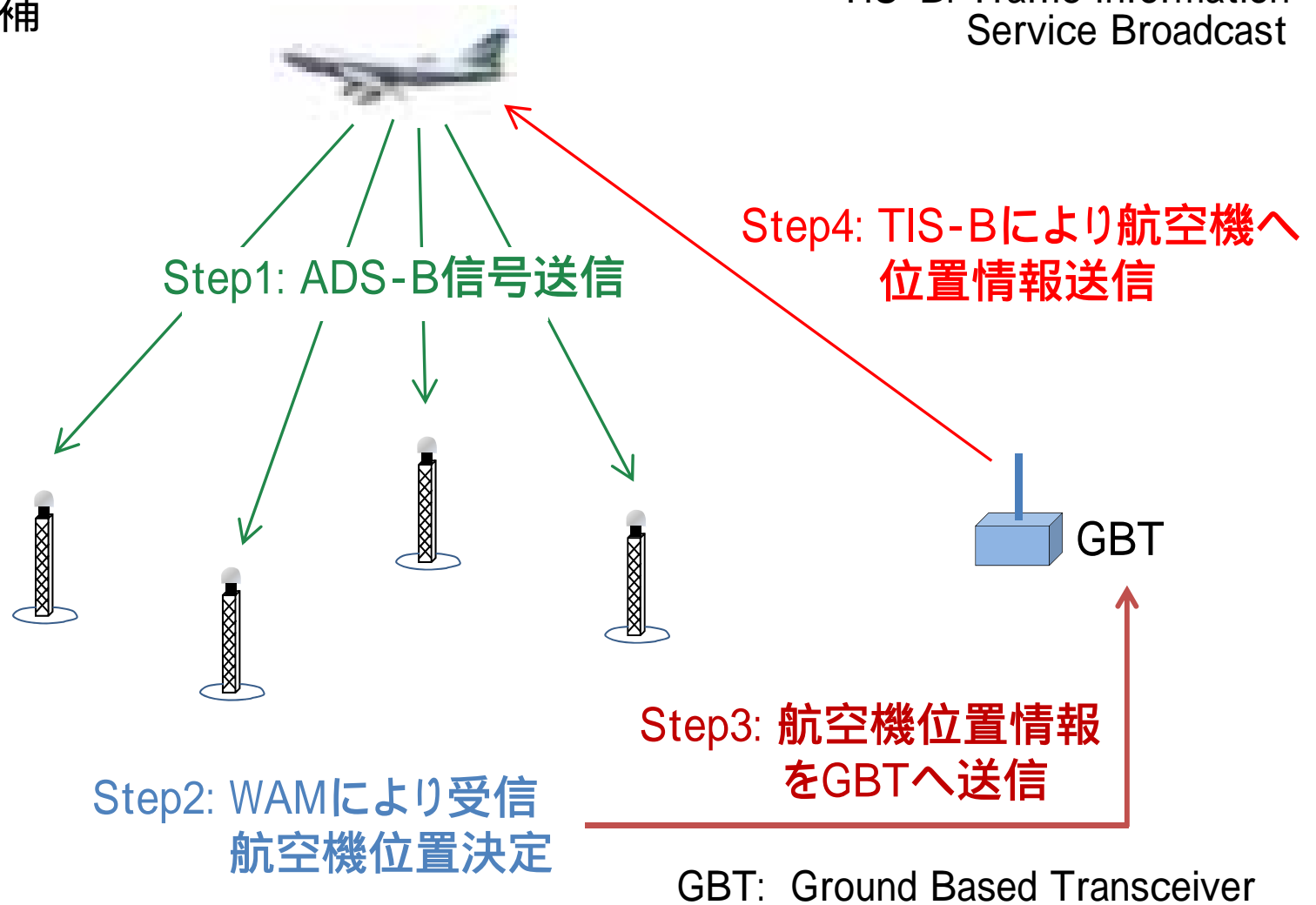
DME(測距装置)

**WAM**

Pseudolite

LDACS-NAV

TIS-B: Traffic Information Service Broadcast



国内に適用するには、位置情報を航空機へ伝達する手段の検討が必要

# Pseudolite (疑似衛星) による代替システム

代替システム候補

DME(測距装置)

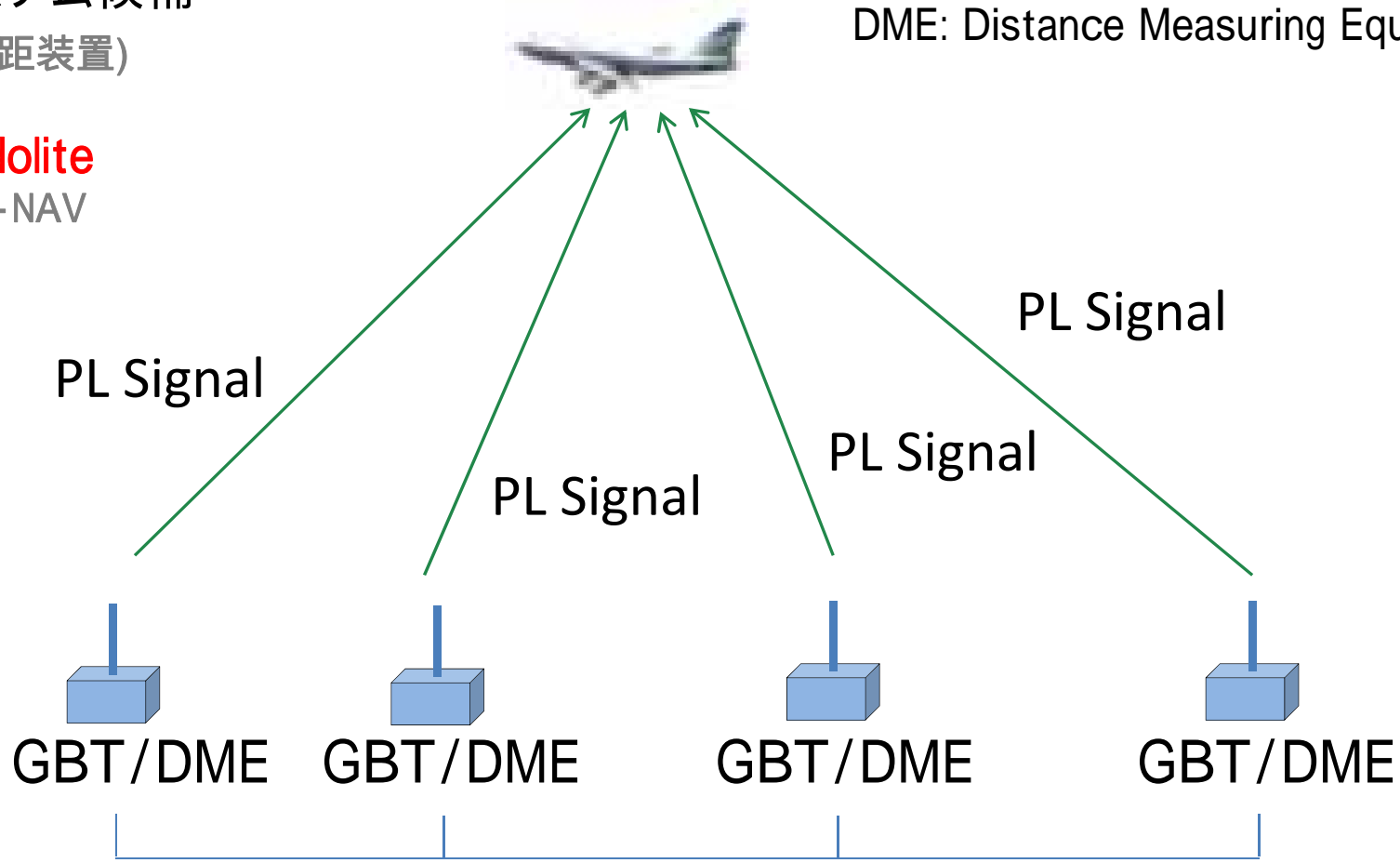
WAM

**Pseudolite**

LDACS-NAV

GBT: Ground Based Transceiver

DME: Distance Measuring Equipment



機上装備へのインパクト大 (標準化、認証、搭載コスト、メンテナンス)



# LDACS-NAVによる代替システム

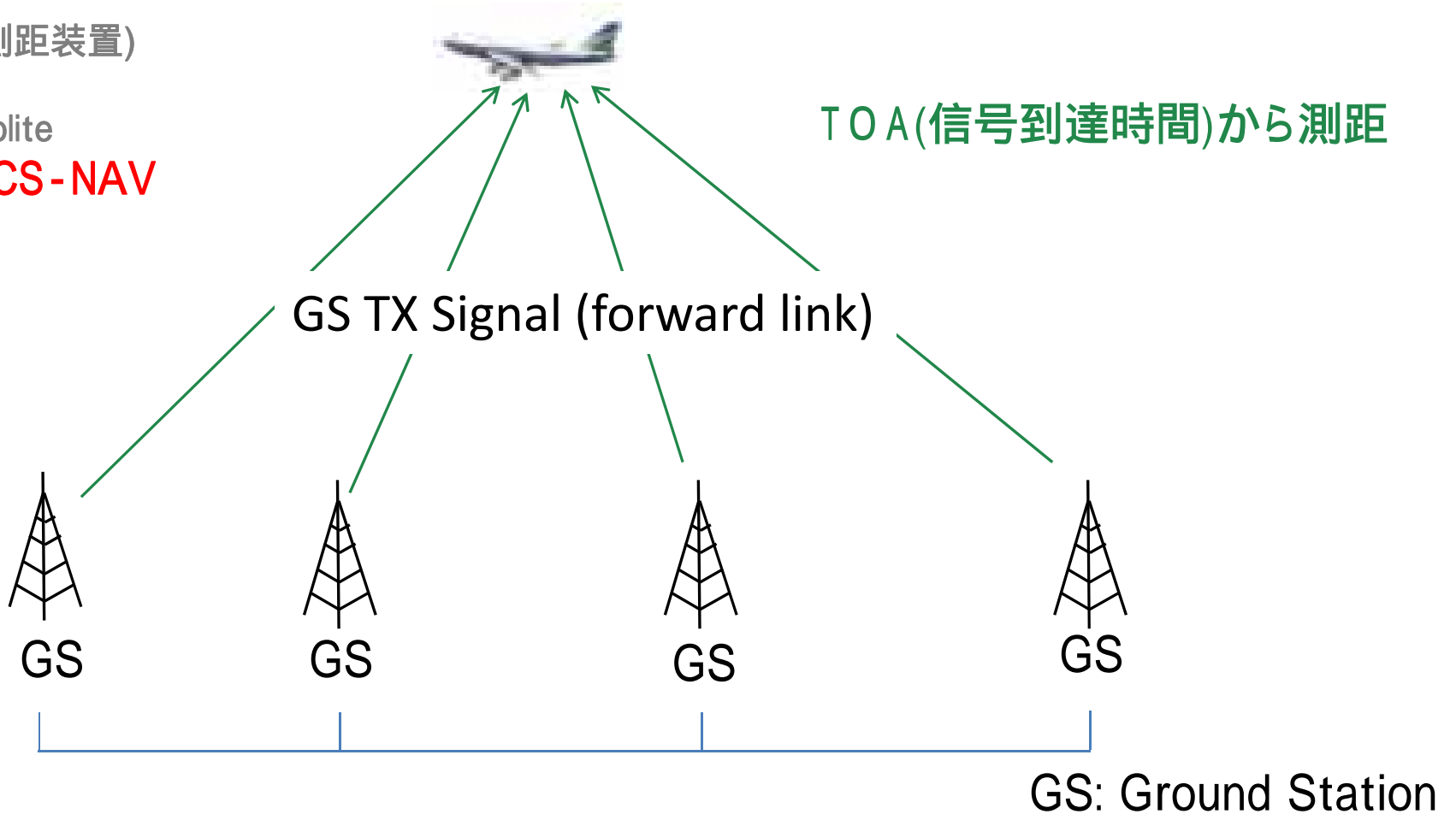
## 代替システム候補

DME(測距装置)

WAM

Pseudolite

**LDACS-NAV**



運用開始まで時間を要する(標準化, 認証)

# 現行DMEの精度

## APNTとしてDMEに着目

現行DME測距誤差		
要因	誤差量	改善検討
機上インテロゲータ (質問機)	92.6m (0.05NM)	・ K. Li, et al. , Proceedings of the ION GNSS Conference, Portland OR, Sep. 2011
地上トランスポンダ (応答機)	37.0m (0.02NM)	
電波伝搬	マルチパス	74.1m (0.04NM)
	対流圏遅延	
<b>Total</b>	<b>129.6m (0.07NM)</b>	・ Matt Harris, et al., 25 <sup>th</sup> ITM ION , sep.2011 ・ E. Kim, et al., 31 <sup>st</sup> DASC, oct 2012

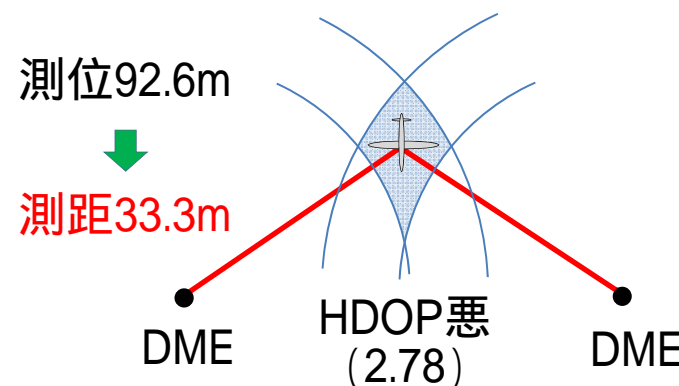
( ) 着目

目標値 33.3m

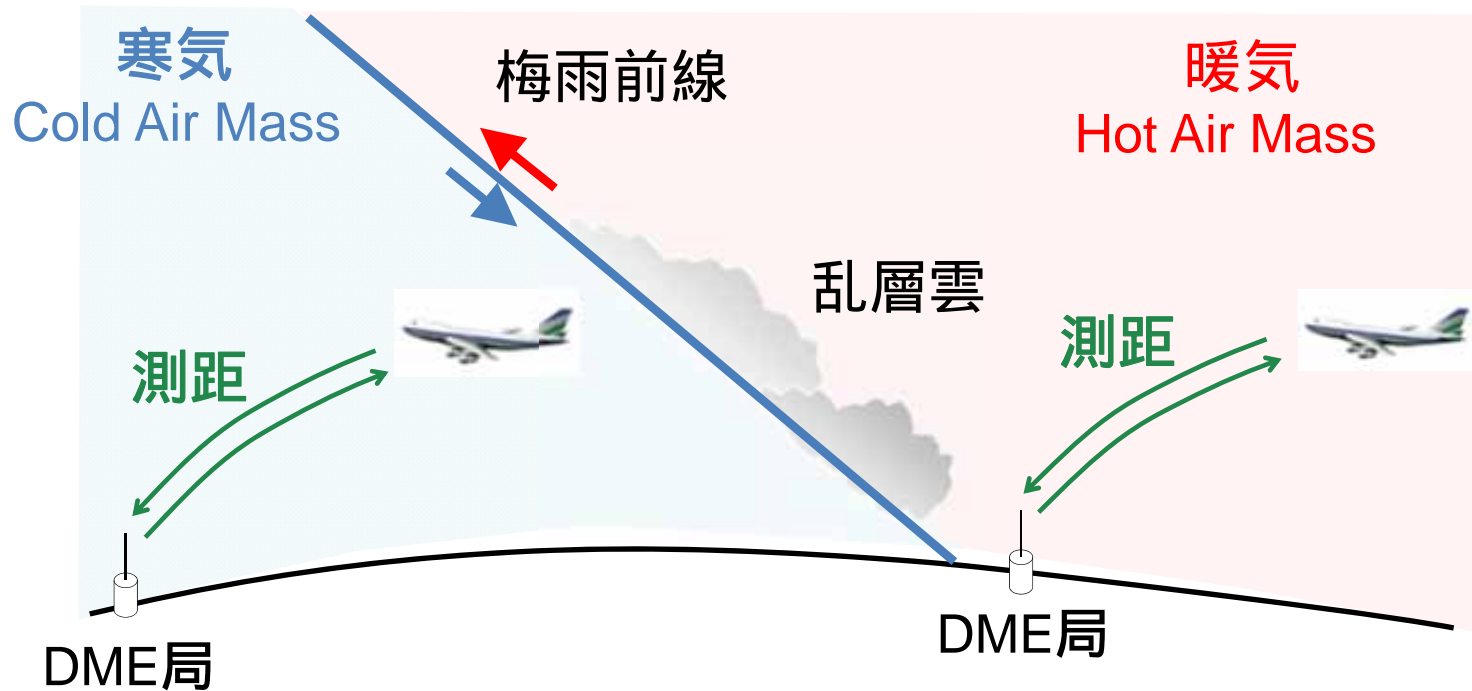
( )

- 補正モデルを用いて大まかな補正は可能
- 気象・地形による誤差の変動分までは補正困難

気象現象等による測距誤差の変動を調査



# 気団による測距誤差変動解析モデル



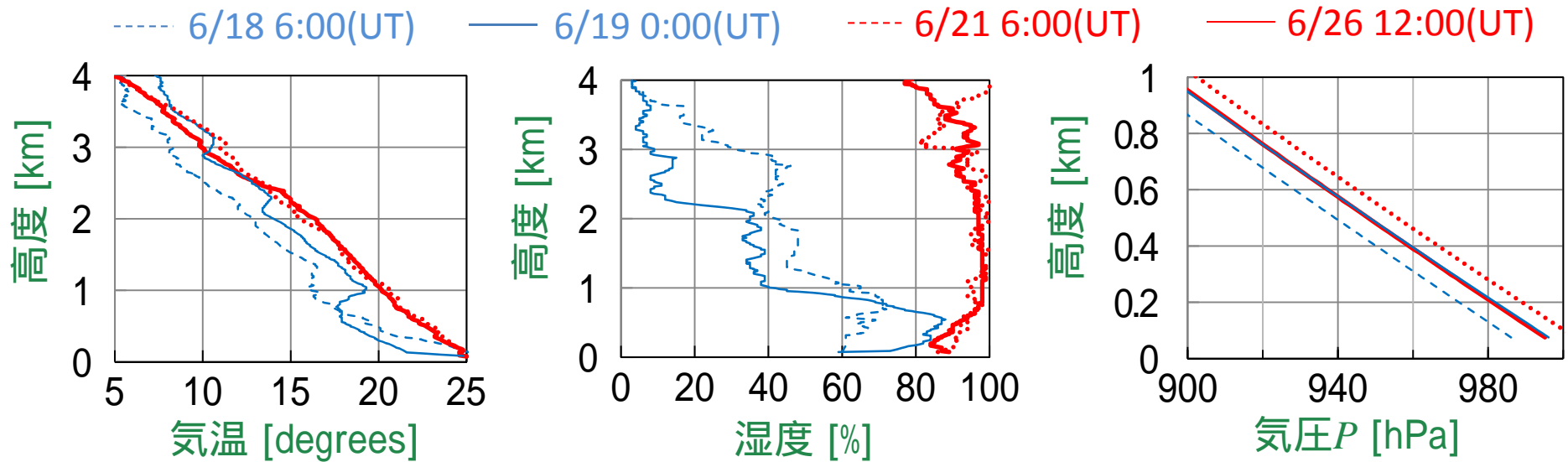
気象現象による測距誤差の変動調査

梅雨期(6月)のデータを使用

寒気団および暖気団の中でレイトレーシングを行い、  
大気伝搬遅延による測距誤差変動を定量的に算出



# ラジオゾンデによる寒気・暖気の気温・湿度・気圧



## Smith-Weintaub's equation

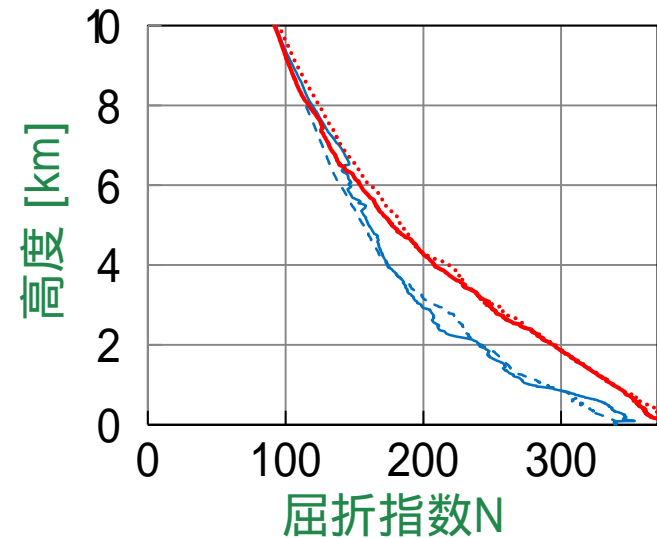
$$\text{屈折指数 } N = 77.6 \frac{P_D}{T} + 64.8 \frac{P_V}{T} + 3.776 \times 10^5 \frac{P_V}{T^2}$$

$P_D$  : 乾燥大気圧 = 気圧  $P - P_V$

$P_V$  : 水蒸気分圧 = 飽和水蒸気圧  $P_{SW}$  × 湿度 [%]

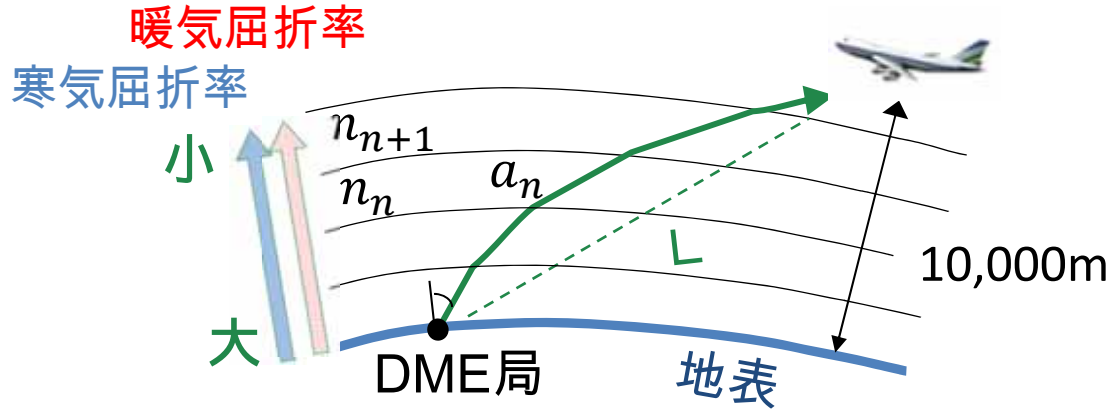
$T$  : 絶対温度 = 気温  $t + 273.15$

$$P_{SW} = 6.11 \times \exp\left(\frac{17.269 t}{t + 237.3}\right)$$



観測点が寒気および暖気の日を選択

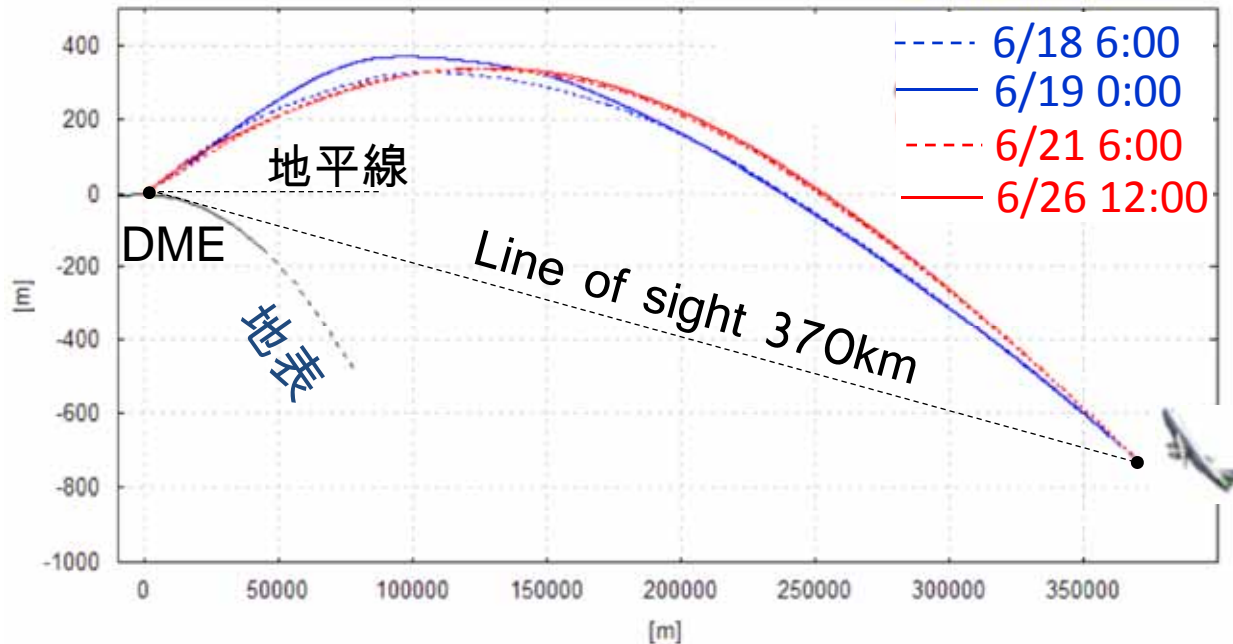
# 寒気・暖気における光線群



大気を層状に離散化

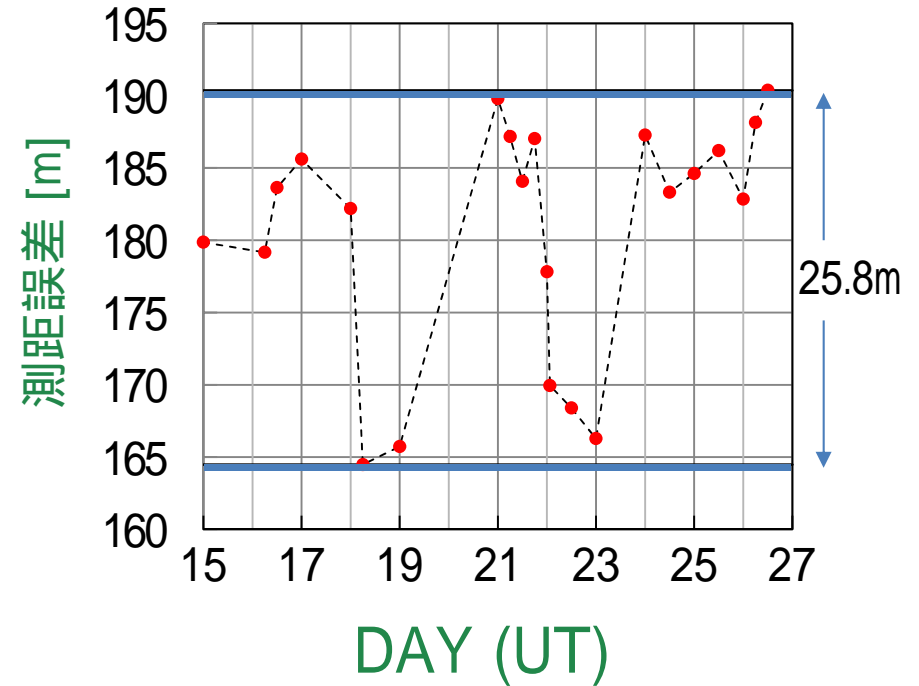
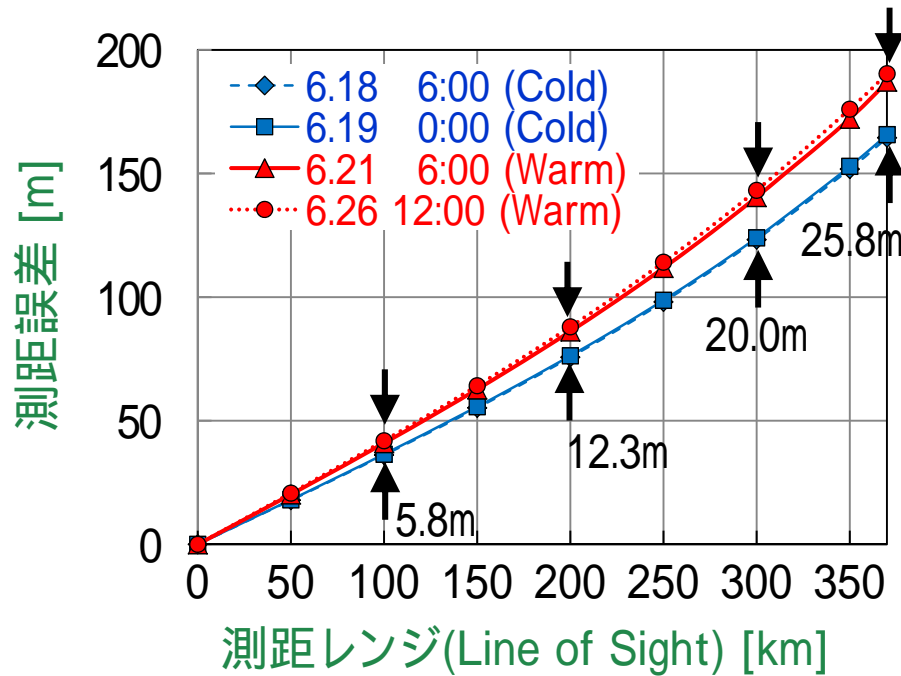
測距誤差

$$\Delta L = 2 \sum_i n_i a_i - 2L$$



レイトレース結果

# 測距誤差変動の解析結果



寒気と暖気での測距誤差の差(誤差の変動)は、最大で25.8m (370kmレンジ)

- DME測距誤差全体の目標値(33.3m)のうち伝搬に割り当てられる量に比べて大きな誤差となる。
- 誤差改善検討が必要

## まとめと今後の予定

### GNSS障害時の代替構築に関する諸外国・ICAOの状況

- FAAでのAPNT性能要件
- 候補となっている各種方式 (DME, WAM, Psuedolite, LDACS-NAV)

### DMEによるAPNTに着目し、対流圏伝搬遅延の気団による変動量を調査

- 寒気・暖気の違いにより誤差が**25.8m変動**
- 測距誤差目標値33.3mのうち電波伝搬へ割り当てられる許容誤差よりも大

### 今後の予定

- 国内における航法・監視の状況から**国内におけるAPNTの性能要件抽出**
- 諸外国が提案する方式の適用性を精査または**新規APNTコンセプト提案**
- DME測距誤差改善のためのデータ提供



Thank you for your attention!