



# 次世代SBASプロトタイプの 航空機を用いた性能評価

※ 北村 光教、渡邊 浩志、坂井 丈泰

航法システム領域

令和2年9月30日（水） 15:00-15:20

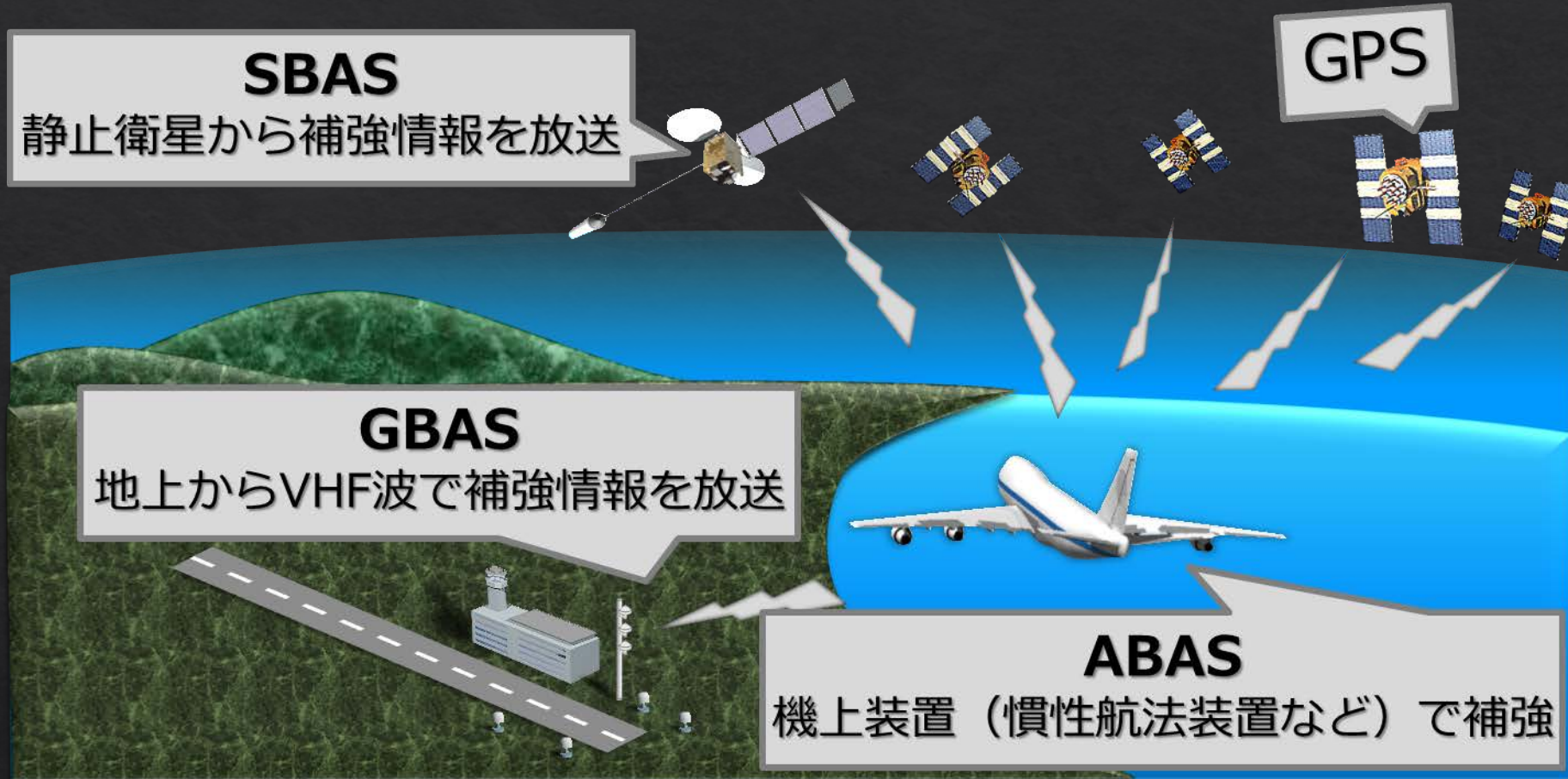
令和2年度（第20回）電子航法研究所 研究発表会

- ◇GNSSと補強システム
- ◇SBASと次世代SBAS
- ◇次世代SBASプロトタイプと放送実験
- ◇飛行実験とその結果

# 衛星測位システム (GNSS)

- ◇ 人工衛星との間の距離から位置を測定するシステム
  - ◇ 米国のGPSが代表的
  - ◇ その他, 露国 : GLONASS, 欧州 : Galileo, 中国 : BeiDou等
- ◇ 航空航法におけるGNSS測位
  - ◇ GPSによる測位が既に用いられている
  - ◇ 国際民間航空機関 (ICAO) によると, GNSSを監視する補強システムの併用が必須
    - ◇ GNSSに深刻なエラーが発生した際に危険
    - ◇ 衛星時計の故障や軌道暦, 大気擾乱による誤差の急激な変化など

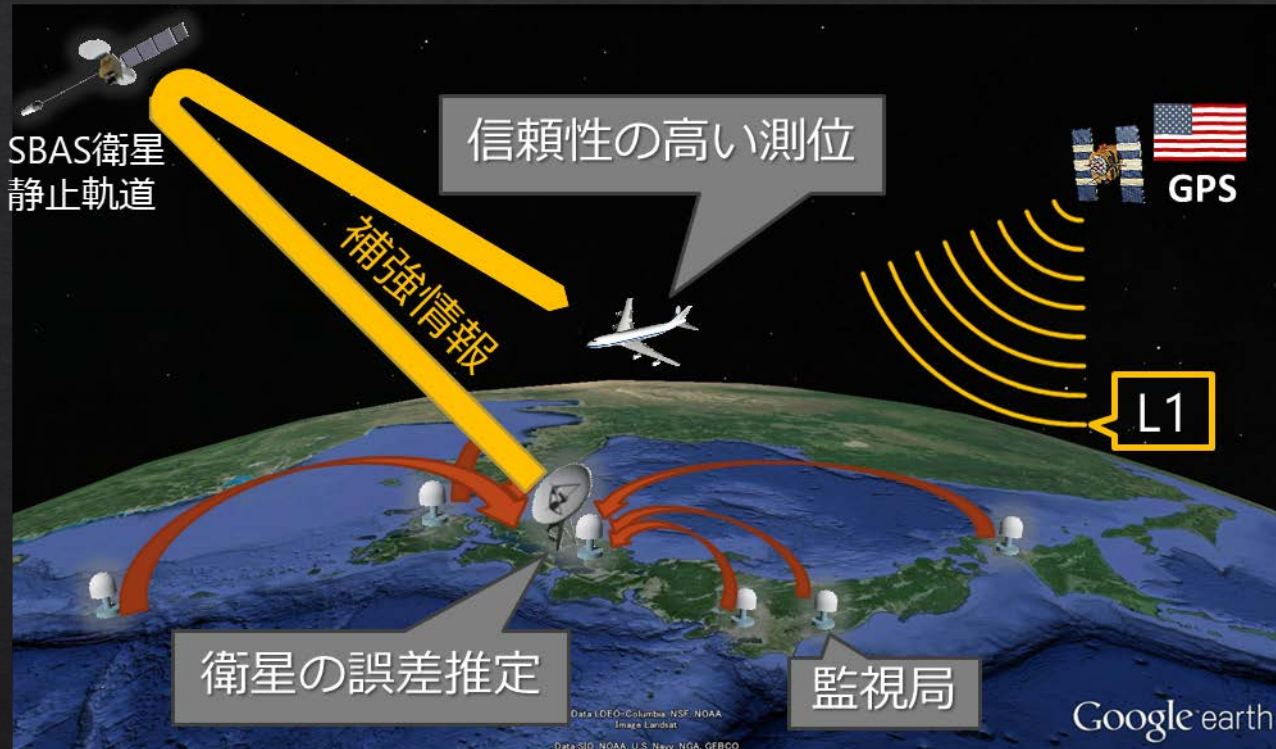
# 補強システム



- ◇ サービスエリア : ABAS > SBAS > GBAS
- ◇ 補強性能 : ABAS < SBAS < GBAS

# 衛星型補強システム (SBAS)

## ・ 静止衛星を利用した補強システム



SBASの概要

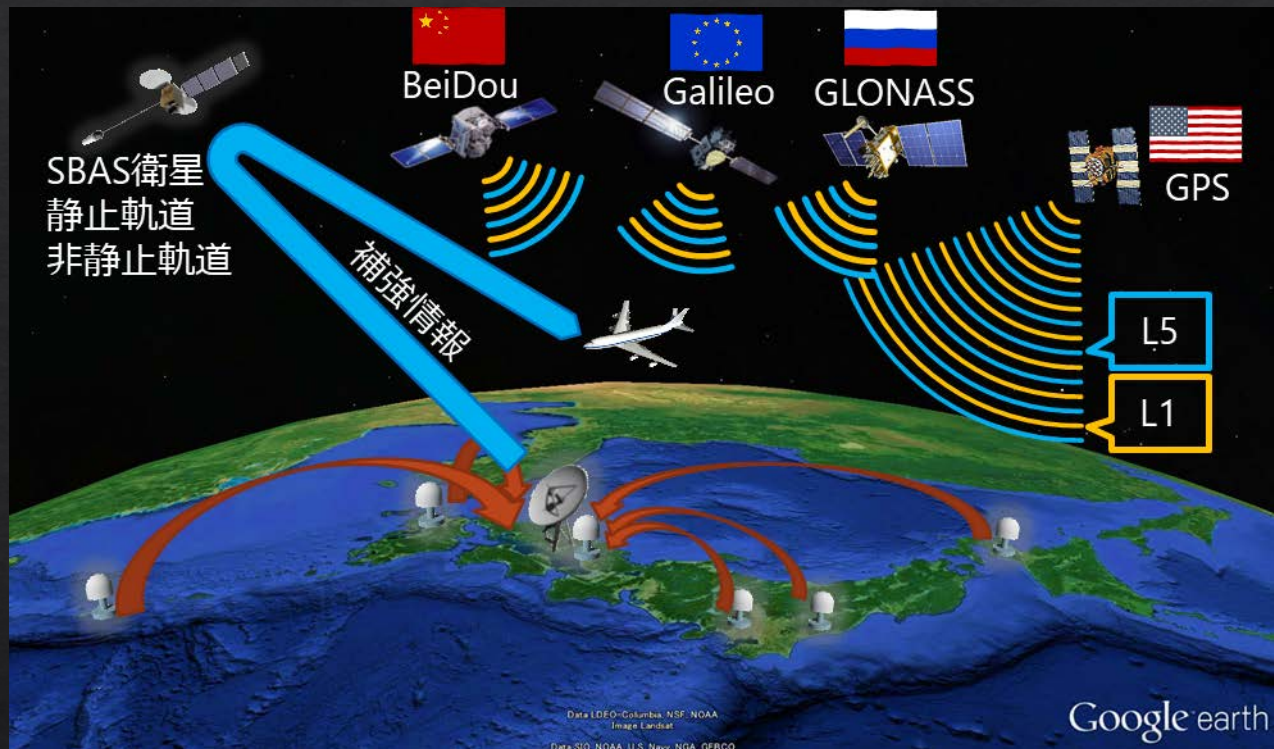
### SBASの特徴

- ◇ GPS L1-C/A信号を監視
- ◇ 監視情報を集めて各衛星の誤差を推定
  - ◇ エフェメリスからの衛星位置・時計誤差
  - ◇ 電離圏遅延の分布など
- ◇ 補強情報として静止衛星経由でユーザに伝送
- ◇ 精度とインテグリティの高い測位が可能に

日本では航空局がMSASを運用 航空航法に利用されている

# 次世代SBAS (DFMC SBAS)

- ・ ICAOで規格化が進められている新しいSBAS



次世代SBASの概要

電子航法研究所では

DFMC SBAS規格化の支援活動の一環としてDFMC SBAS プロトタイプ機を開発

## DFMC SBASの特徴

### DF: Dual Frequency

- ◇ L1 & L5 信号を利用
- ⇒電離圏の影響を高精度に補正可能

### MC: Multi-Constellation

- ◇ 複数GNSSを利用
- ⇒衛星数の増加

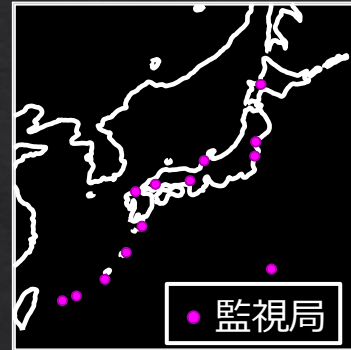
### 非静止衛星

- ◇ QZSSからも放送可能
- ◇ 高緯度から放送
- ⇒極域航路でも受信が容易

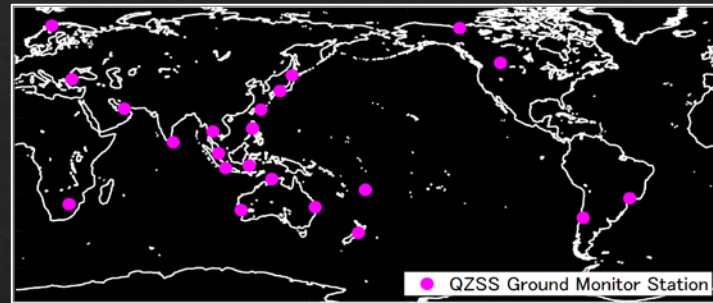
# 次世代SBASプロトタイプ機と放送実験

## 電子研における 次世代SBASプロトタイプ機の概要

- ◇ 補強対象GNSS :
  - ◇ GPS (L1-C/A, L2P)
  - ◇ Galileo (E1B, E5a)
  - ◇ QZSS (L1-C/A, L2C)
  - ◇ ICAOの現規格案とは異なる実験用仕様
    - ◇ QZSSはまだ補強対象外
    - ◇ GPSは本来L1帯とL5帯
  
- ◇ 2種類の監視局網 : 実験目的に応じて変更可能
  - ◇ 国内監視局網 (電子基準点)
  - ◇ 国際監視局網 (QZSS PNT)
  
- ◇ 補強情報の生成
  - ◇ 複数の監視局から特定の衛星を観測して衛星の位置を逆測位することで推定
  - ◇ 衛星軌道暦・時計の補正
  - ◇ 衛星毎の補正值の信頼度



国内監視局網

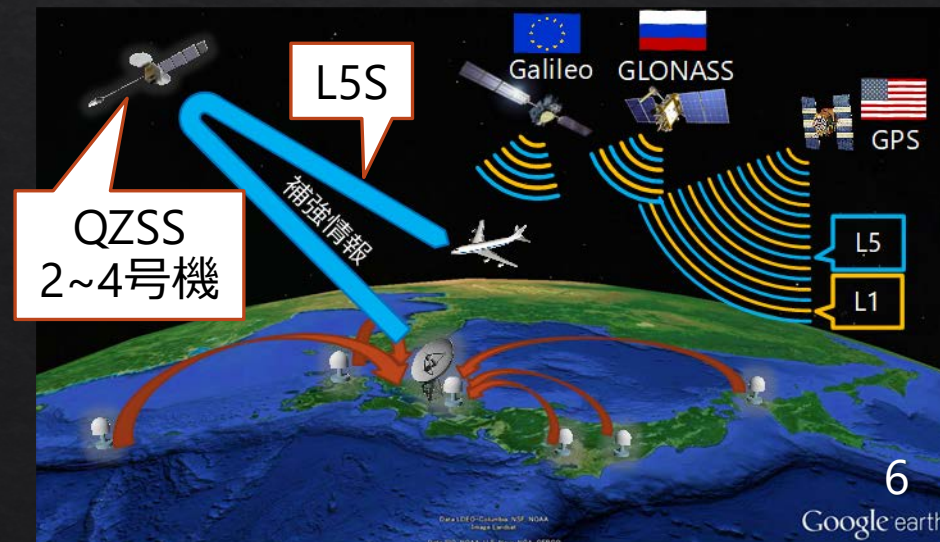


国際監視局網

## 放送実験

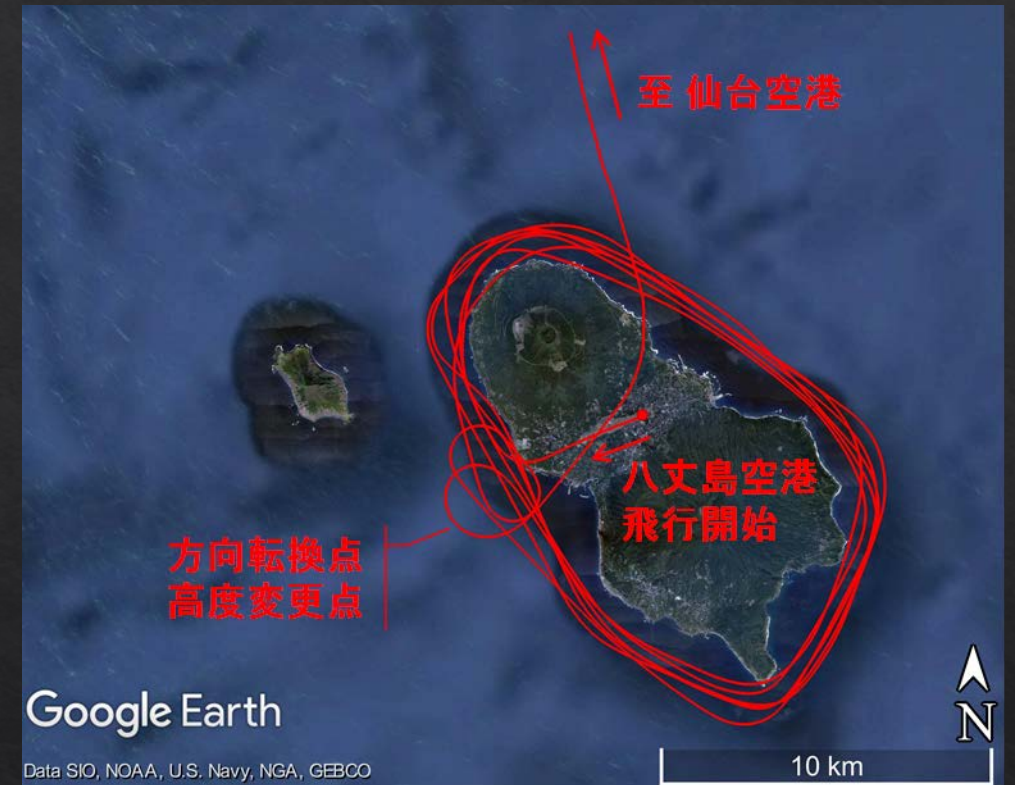
プロトタイプ機で生成した補強情報を放送する

- ◇ 放送衛星 : 準天頂衛星
  - ◇ 2号機 (準天頂衛星軌道)
  - ◇ 3号機 (静止軌道)
  - ◇ 4号機 (準天頂衛星軌道)
- ◇ 放送信号 : L5S信号
  
- ◇ 放送されたL5S信号を受信・評価等を実施



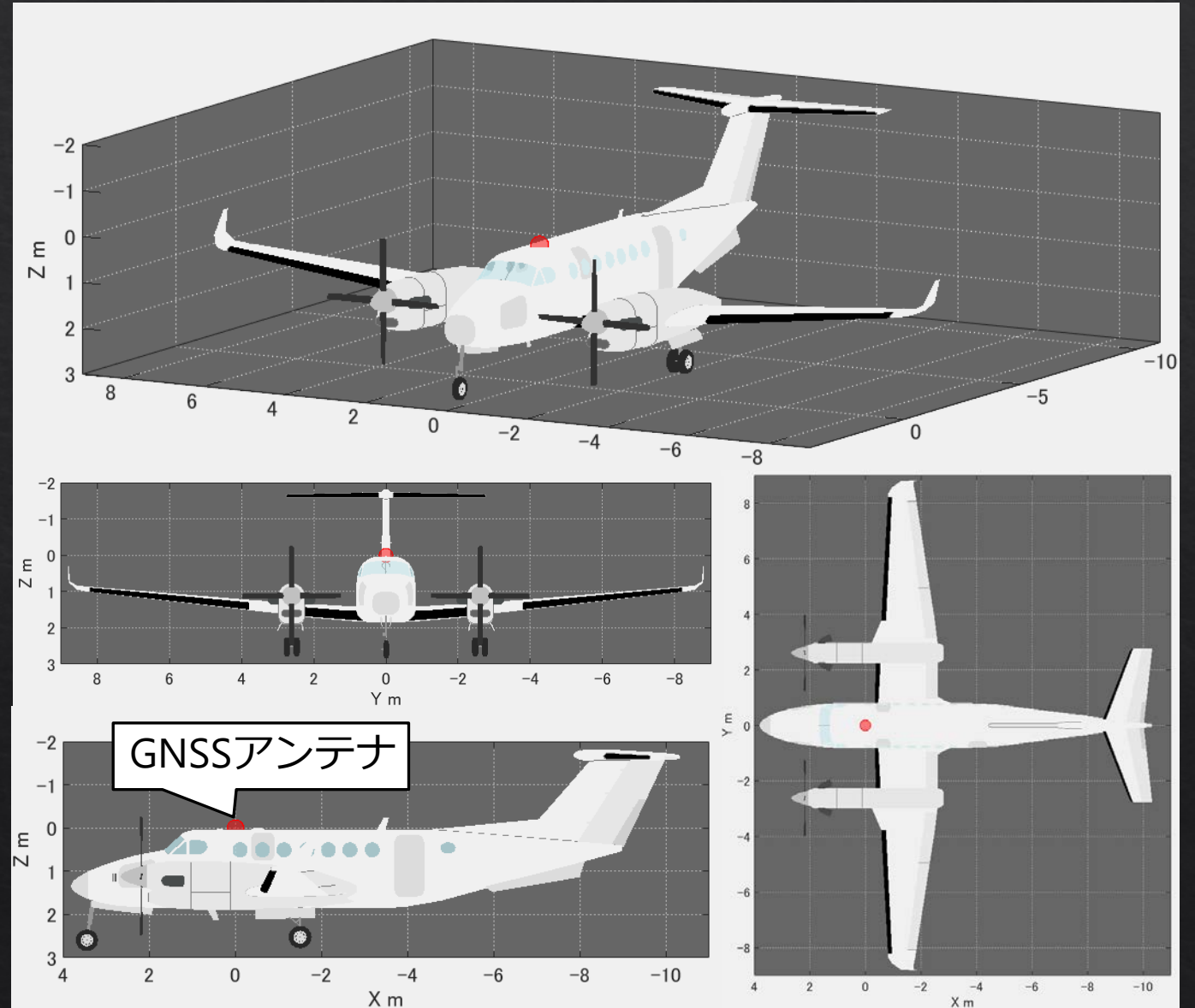
# 飛行実験による次世代SBAS評価

- ◇ 概要：
  - 八丈島周辺フライトを実施.
  - GNSS信号とL5S信号を受信, 評価する.
- ◇ 実験日時：2019年10月9日01:13~02:04 (GPST)
- ◇ フライトパス
  - ◇ 八丈島空港を離陸
  - ◇ 高度1000ft (約300m)
    - ◇ 時計回りに2周
    - ◇ 反時計回りに2周
  - ◇ 高度1500ft (約460m)
    - ◇ 反時計回りに1周
    - ◇ 時計回りに1周
  - ◇ 仙台空港に向けてフェリーフライト



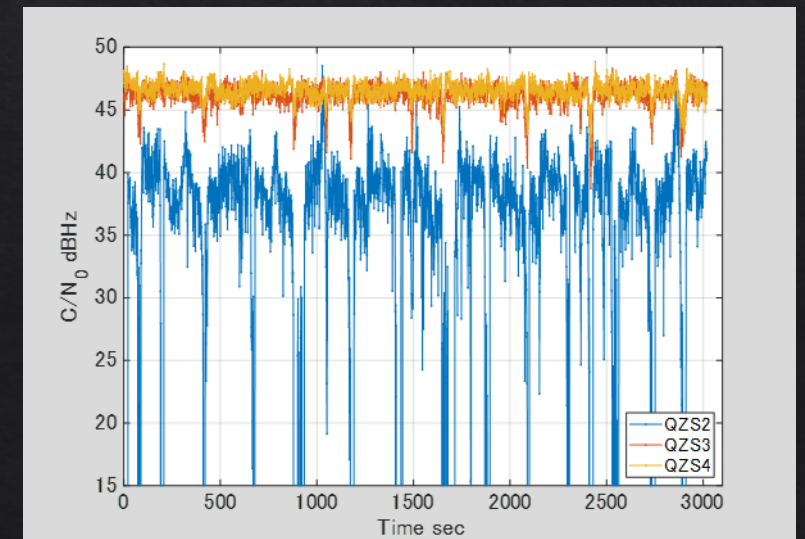
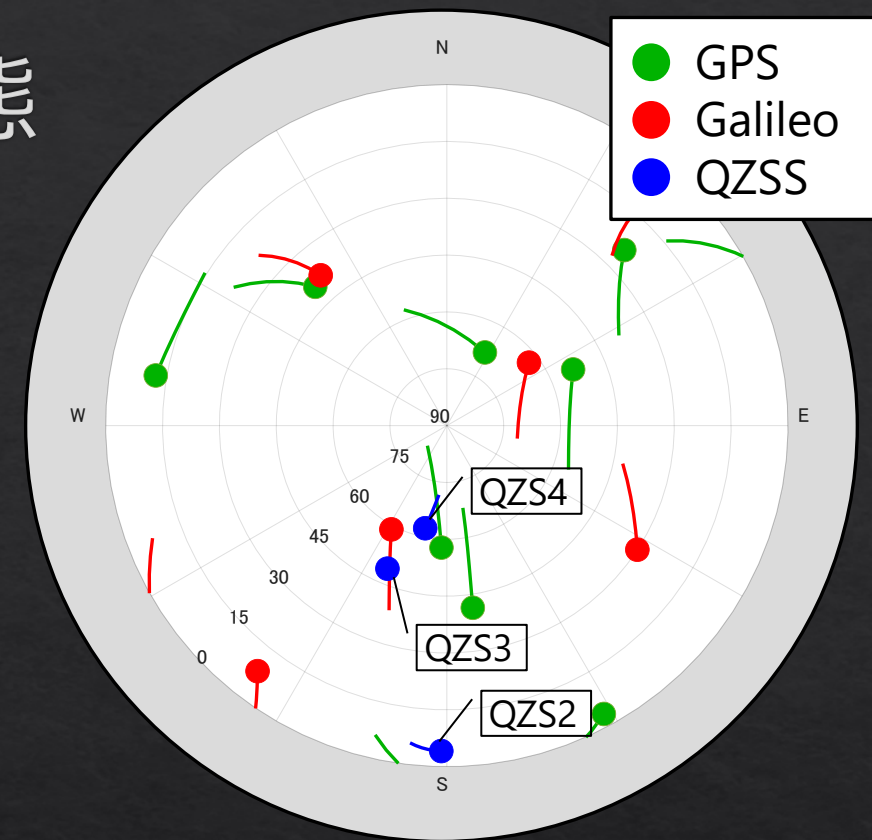


- ◇ 電子航法研究所の実験用航空機「よつば」
  - ◇ BeachCraft製 KingAir 350
  - ◇ 全幅17m, 全長11mの小型航空機
  - ◇ 客室元8席  
→ 4席+実験装備ラックに改修
  - ◇ 航空機の監視・通信・航法等に関する実験に利用
- ◇ GNSS受信機とアンテナを搭載
  - ◇ 受信機 1 : Trimble製 NetR9
  - ◇ 受信機 2 : JAVAD製 Delta G3T
  - ◇ 受信機 3 : 古野電気製 GW11
  - ◇ アンテナ :  
AeroAntenna製 AT1675-381



# 飛行実験時のL5S信号の受信状態

- ◇ 飛行中にL5S信号を受信
  - ◇ QZS 2号機は仰角が低い時間帯
    - ◇ 受信強度 (C/N<sub>0</sub>) が低い
    - ◇ 山等の地形や翼による遮蔽が発生
    - ◇ L5S信号の受信成功 (CRC検査) 率 : 75.3%
  - ◇ QZS 4号機とQZS3号機 (静止衛星) は十分な仰角
    - ◇ 受信成功率はともに100%
  
- ◇ 実験における準天頂衛星の軌道の特徴
  - ◇ QZS 2号機, QZS 4号機は常にどちらかが高仰角
    - ◇ 8字軌道で高仰角の衛星が順次切り替わる
  - ◇ 加えて静止軌道のQZS3号機が常に中程度の仰角  
→安定してL5S信号を受信することができる
  
- ◇ 低仰角～高仰角の異なる衛星状況の  
有意義な受信結果が得られた  
次世代SBASの非静止衛星軌道利用に関する今後の検討に活用したい



# ENRI 飛行中の測位性能 (受信機 1)

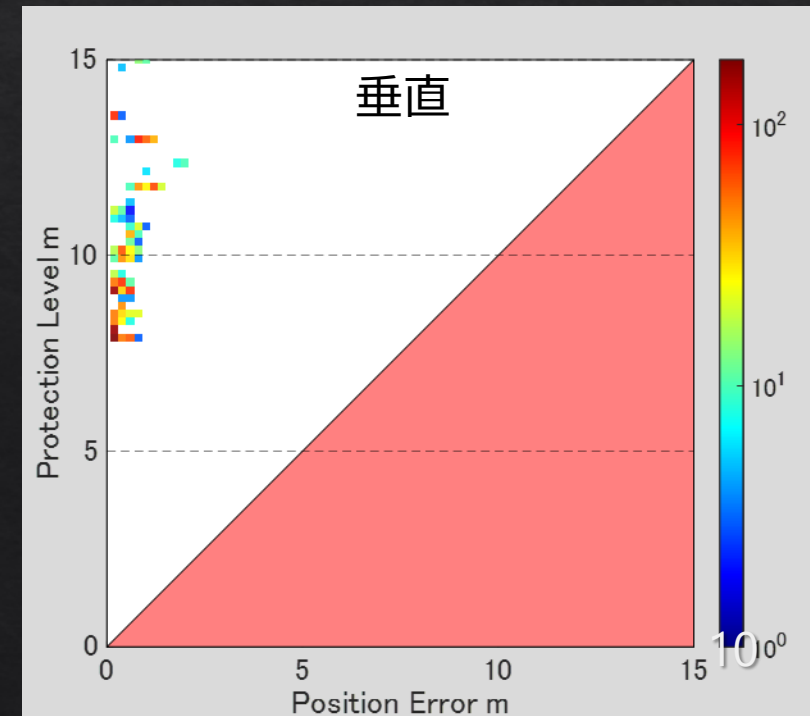
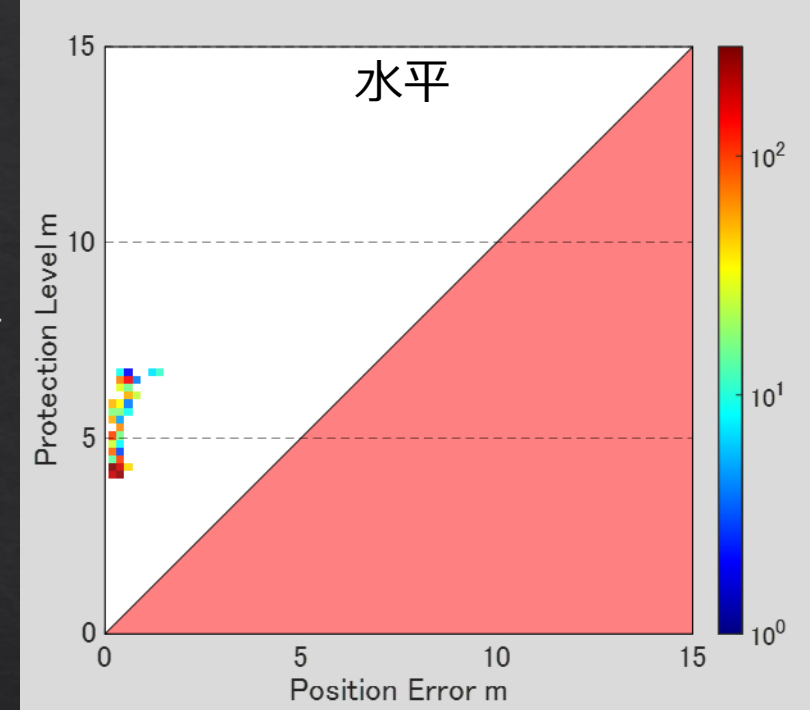
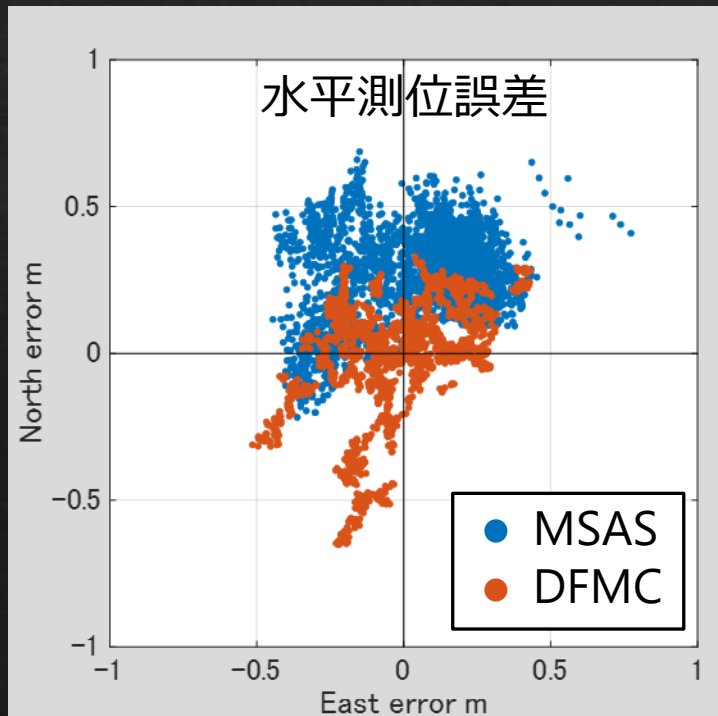
- ◇ 飛行中の測位精度
  - ◇ RTK測位 (センチメートル精度) をリファレンスに測位誤差を評価
  - ◇ MSASによる補強と比較 (下図)
    - ◇ MSASは日本の航空局が運用する現行SBAS
    - ◇ 同等の測位精度が得られている
- ◇ 保護レベルと測位誤差の比較 (右図)
  - ◇ インテグリティの破綻は見られなかった

MSASの測位精度

MSAS		Horizontal	Vertical
RMS	m	0.38	0.46
95% Error	m	0.54	0.71

次世代SBASプロトタイプの測位精度

DFMC		Horizontal	Vertical
RMS	m	0.30	0.52
95% Error	m	0.52	1.09



# ENRI 飛行中の測位性能 (受信機 2)

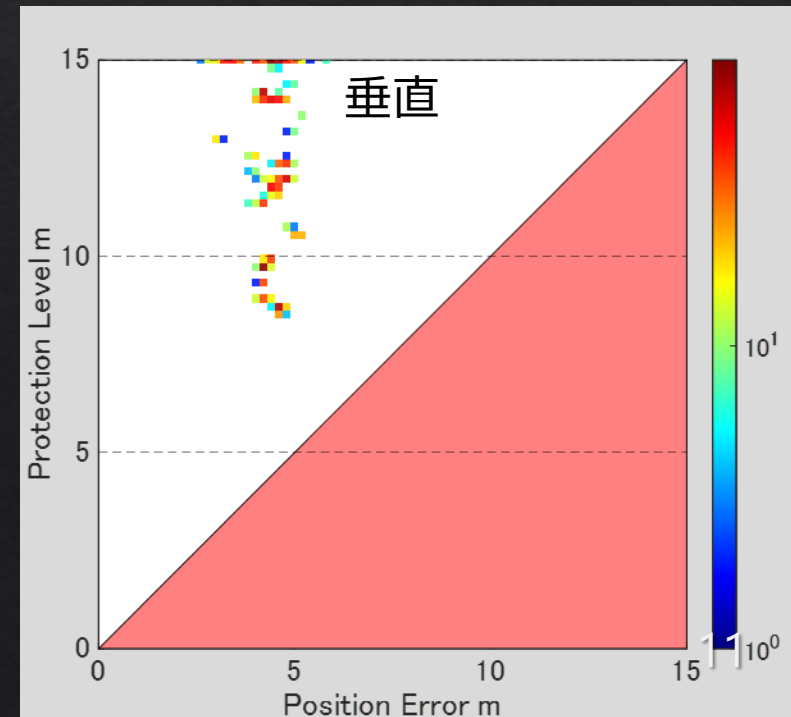
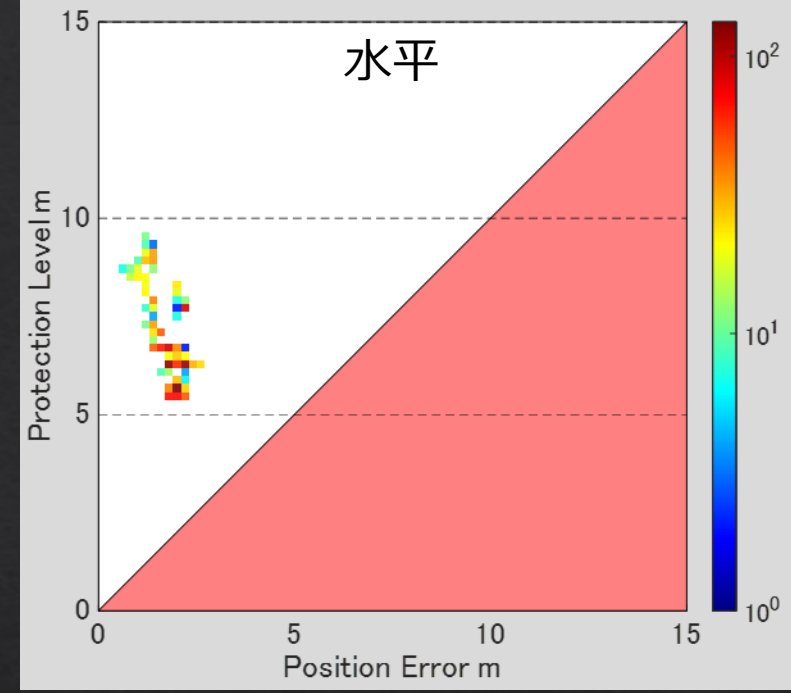
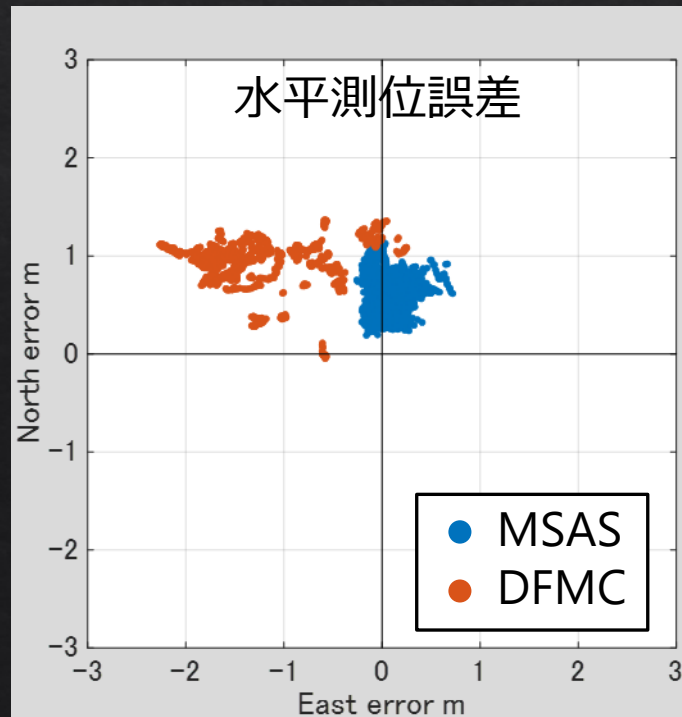
- ◇ バイアス誤差が発生
  - ◇ MSASでもバイアスが見られるが, DFMCがより顕著
- ◇ 原因の考察
  - ◇ 監視局は全局Trimble製 NetR9受信機を利用
  - ◇ 受信機 1 (Trimble製NetR9) でバイアス誤差なし
  - ◇ 受信機 2 (Javad製 G3T) でバイアス発生
  - ◇ 監視局 (基準局) と移動局 (ユーザ) 間の受信機種種の差が問題?

MSASの測位精度

MSAS		Horizontal	Vertical
RMS	m	0.62	0.55
95% Error	m	0.93	0.90

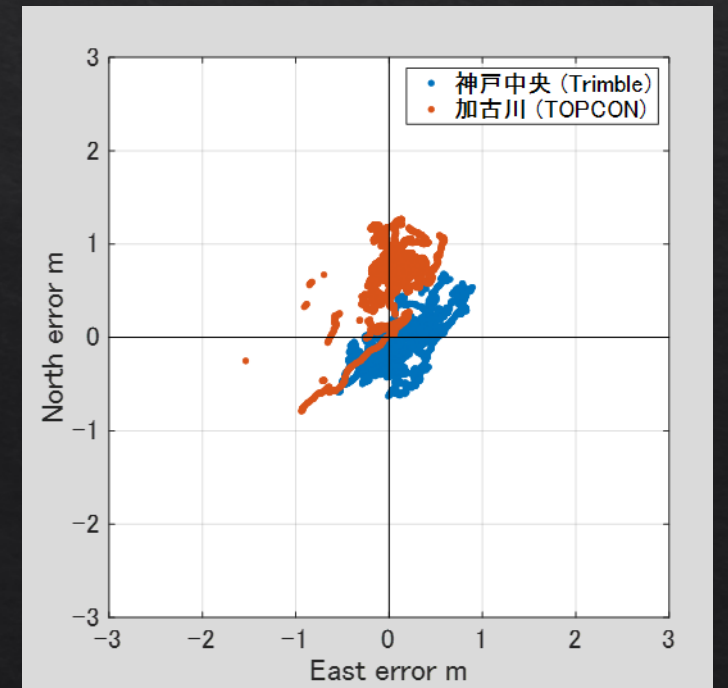
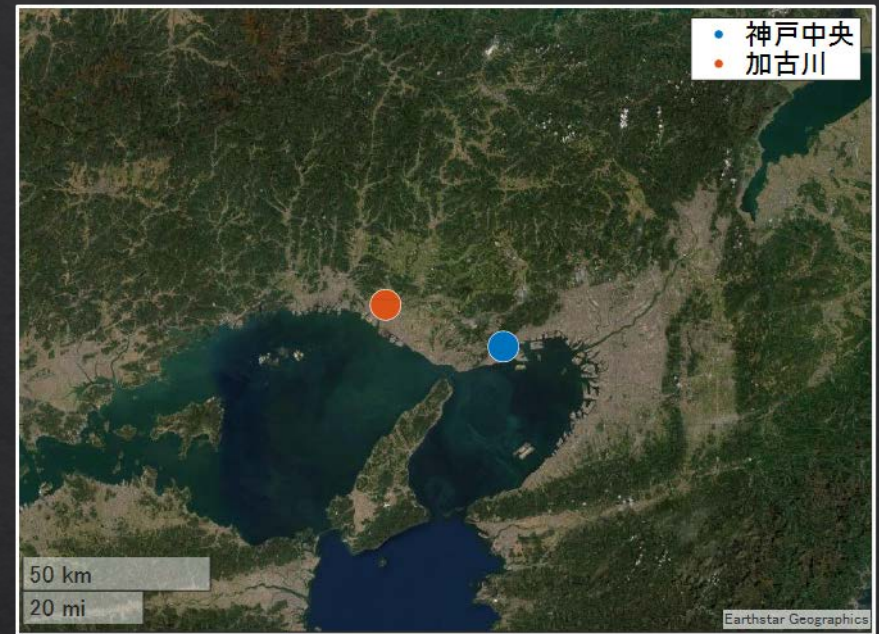
次世代SBASプロトタイプの測位精度

DFMC		Horizontal	Vertical
RMS	m	1.72	4.28
95% Error	m	2.15	4.87



# 電子基準点で確認

- ◇ 神戸局と加古川局で比較
  - ◇ 神戸局受信機：Trimble NetR9
  - ◇ 加古川局受信機：TOPCON NETG5
- ◇ 確認期間：飛行実験と同一
- ◇ 結果：Trimble受信機：バイアスなし vs TOPCON受信機：バイアス発生  
→受信機種の違いが測位結果に影響
- ◇ RTK等の高精度測位でも問題となることが知られている
  - ◇ 受信機内部のシステム間バイアス等やフィルタ特性の差等が原因
  - ◇ 基本的に同じ受信機を用いることで解決
  - ◇ SBASは放送サービスなので揃えることは難しい
- ◇ 原因の考察
  - ◇ MSASでもバイアスは発生→2周波線形結合で顕在化した可能性
  - ◇ SBAS規格に準拠しない汎用受信機で実験したためバイアス発生した可能性
  - ◇ 対策が必要と考えるので今後の課題としたい



		Trimble受信機		TOPCON受信機	
DFMC		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
RMS	m	0.42	0.52	0.79	3.09
95% Error	m	0.84	1.06	1.18	4.59

- ◇ 航空航法でも利用されているGNSS
- ◇ ICAOでは補強システムの併用が必須とされている
- ◇ 補強システムの1種であるSBASは、その次世代版の規格化がされている
- ◇ 電子研では、次世代SBASのプロトタイプ機の作成とQZSSを用いた放送実験を実施している
- ◇ 電子研の実験用航空機「よつば」を用いた評価実験を実施
  - ◇ 受信機1では現行SBAS (MSAS) と少なくとも同程度の性能を確認
  - ◇ 受信機2ではバイアス誤差が見られた
- ◇ バイアス誤差の原因として考えられるもの
  - ◇ 監視局とユーザ局で異なる受信機種別を用いたこと
  - ◇ MSASでも多少のバイアスは見られたので、2周波線形結合によるバイアス誤差の増大
  - ◇ SBAS規格に準拠しない汎用受信機を用いたこと
- ◇ 本バイアス誤差の低減は必要と考える。今後の課題としたい
  
- ◇ 本課題の解決を図ることで  
ICAOにおける次世代SBAS規格化への貢献を目指す