

# GPS L5信号の 新航法メッセージの利用可能性

航法システム領域

○北村 光教、麻生 貴広、坂井 丈泰

2016/06/09 講演番号12 16:25～16:45

平成28年度 電子航法研究所 研究発表会

# Contents



## ◇ 背景

- ◇ SBASの次世代化

## ◇ 課題

- ◇ 次世代SBASで利用する最適な航法メッセージの選択

## ◇ 検討

- ◇ 航法メッセージ（LNAVとCNAV）の比較評価

- ◇ 最適な航法メッセージを考察

## ◇ まとめ

◇ 飛行機の位置計測  
⇒ 衛星測位 (GPS) が利用可能

◇ しかし単純にGPSのみだと  
測位誤差が大きい場合

重大な事故につながる  
可能性がある



◇ 補強システムの利用が必要



# 補強システム

## SBAS

静止衛星から補強情報を放送

## GPS

## GBAS

地上からVHF波で補強情報を放送

## ABAS

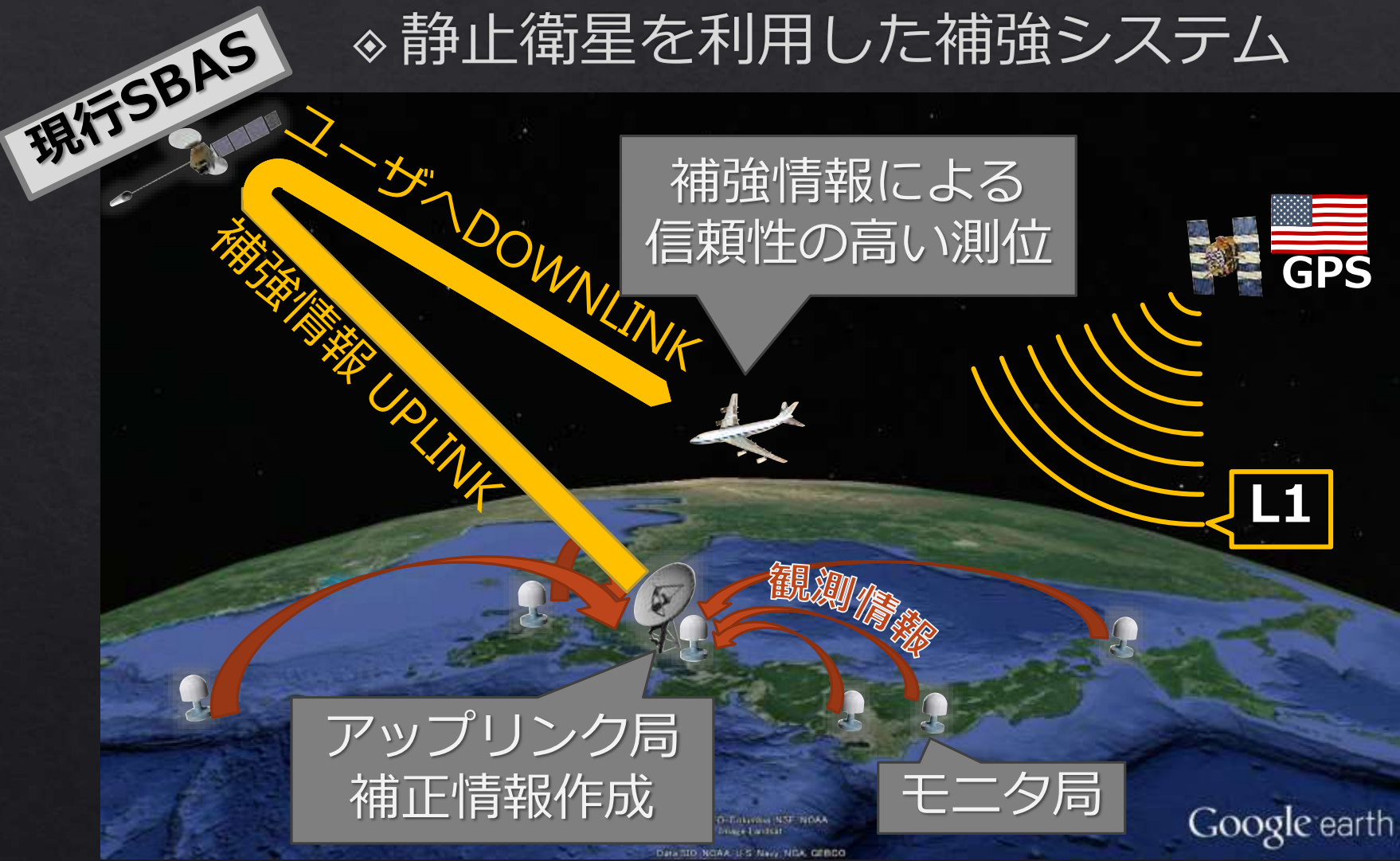
機上装置（慣性航法装置など）で補強

◇ 航空航法でGPSを使用する際には  
補強システムによる精度・信頼性の補強が必要

# 静止衛星型衛星航法補強システム (SBAS)



◇ 静止衛星を利用した補強システム



◇ GPSの1周波測位を補強

# 衛星測位システム(GNSS)の動向



## ◇ GPS



- ◇ 近代化が進んでいる
- ◇ 第3の民間用信号 L5帯信号を配信 (現在12機)
- ◇ 2024年までに24機配備を計画

## ◇ Galileo



- ◇ 新しいGNSS
- ◇ 現在9機利用可能
- ◇ 2020年までに30機配備を計画

## ◇ GLONASS



- ◇ GPSと同時期に開発
- ◇ 信号変調方式の追加 FDMA⇒CDMA
- ◇ L3OC信号などの新しい信号配信が進んでいる

## ◇ BeiDou



- ◇ 新しいGNSS
- ◇ 現在19機利用可能 (G5, I7, M7)
- ◇ 2020年までに35機配備を計画

◇ 世界的に配備が進められている ⇒ SBASでも利用したい SLIDE 5

# 次世代SBAS

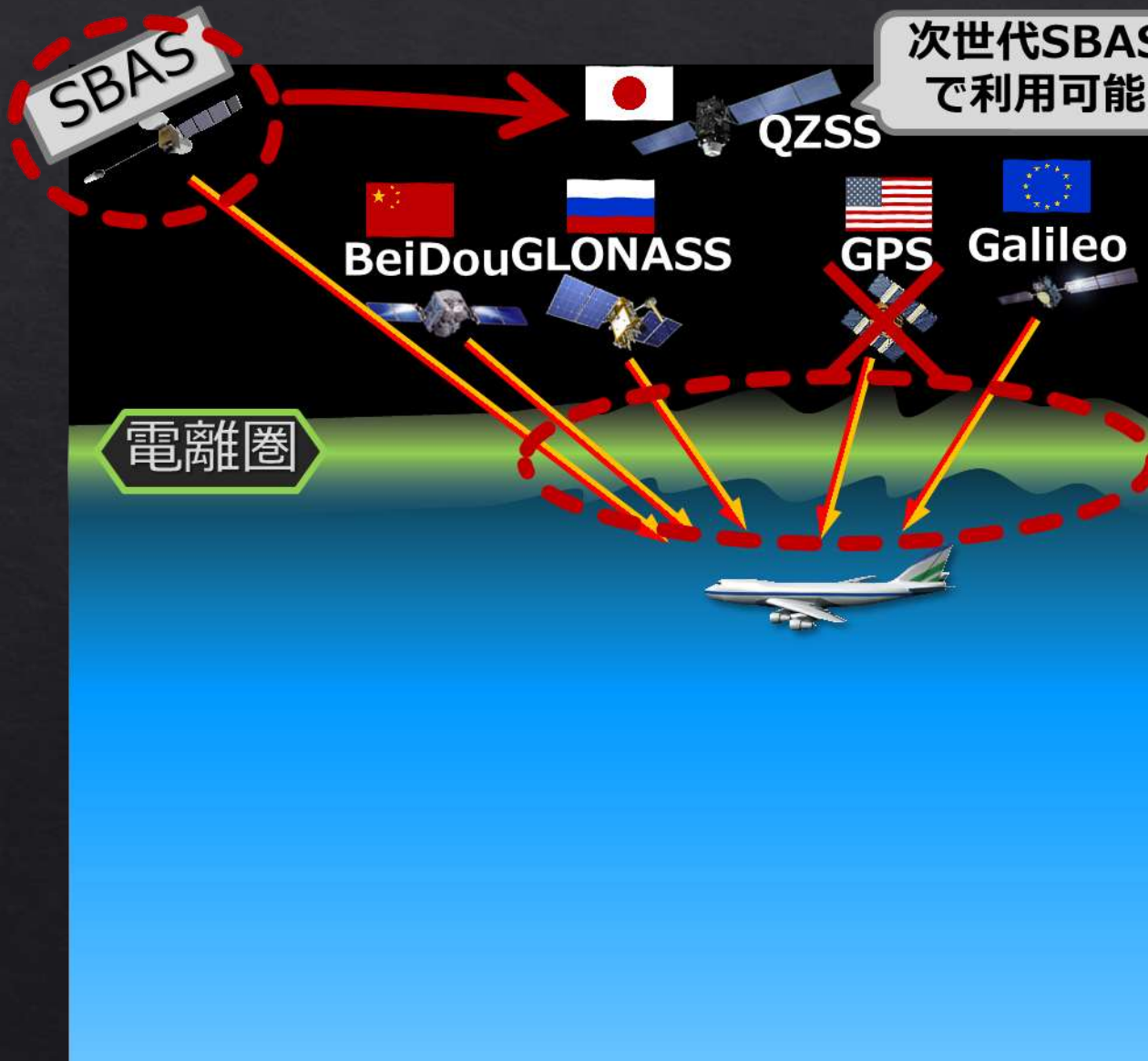
◇ 欧米主導で規格化が検討されている

次世代SBAS



◇ マルチコンステレーションGNSSの2周波測位を補強

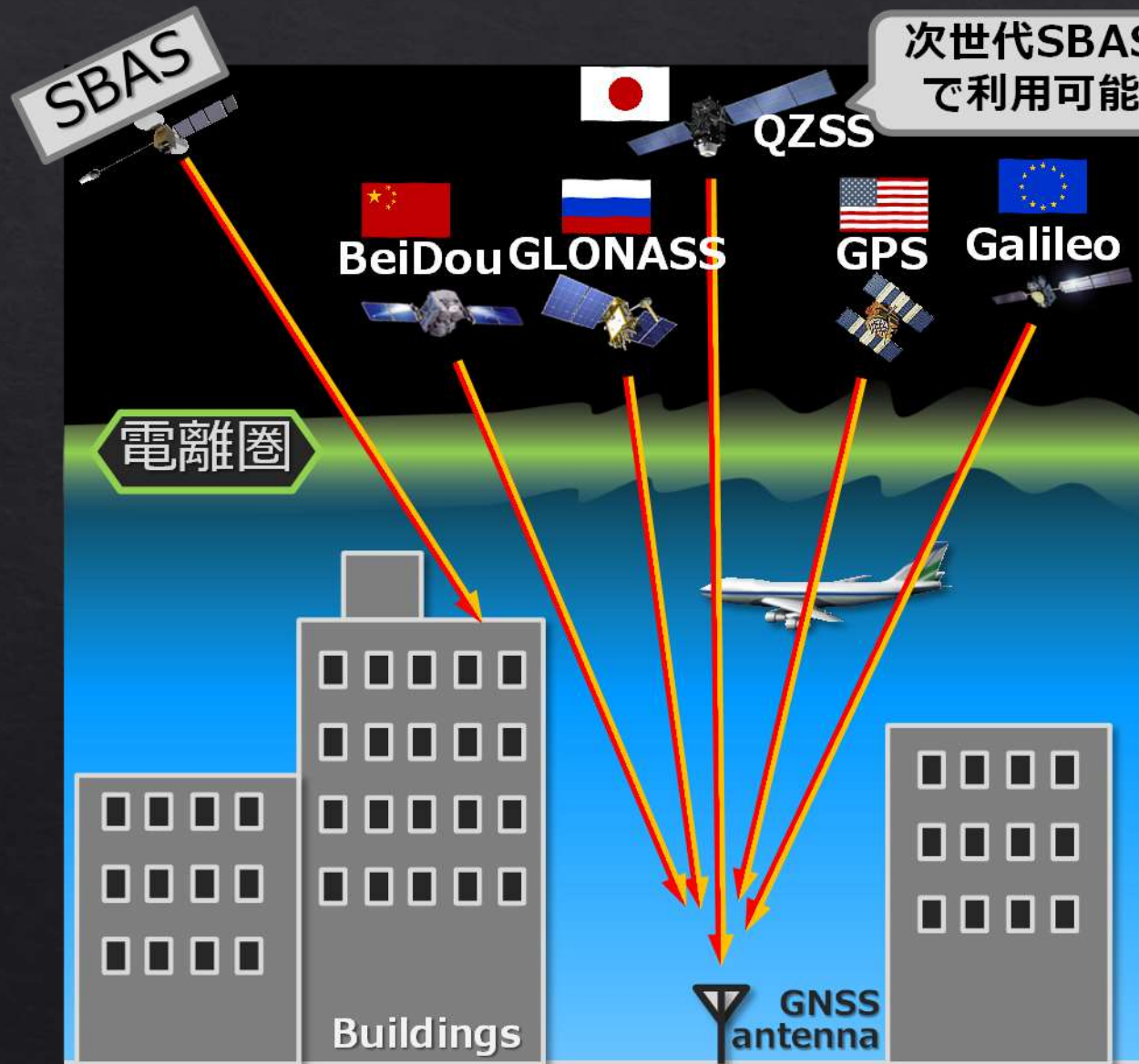
# 次世代SBASの利点



- ◇ 2周波測位  
電離圏擾乱時でも  
高精度な測位
- ◇ マルチコンステ  
GPS使用不能時等の  
測位の継続性向上
- ◇ SBAS配信衛星  
静止軌道以外も  
利用可能に  
例えば準天頂衛星



# 次世代SBASの利点



- ◇ 2周波測位  
電離圏擾乱時でも  
高精度な測位
- ◇ マルチコンステ  
GPS使用不能時等の  
測位の継続性向上
- ◇ SBAS配信衛星  
静止軌道以外も  
利用可能に  
例えば準天頂衛星
- ◇ 都市部でも容易に  
利用可能に
- ◇ 地上アプリケーション  
でも利用可能

# 現行SBAS と次世代SBAS

## 現行SBASの補強

GPS  
L1帯1周波測位



## 次世代SBASの補強

マルチコンステレーション  
〔 GPS, **GLONASS,**  
**Galileo, BeiDou** 〕  
L1+**L5**帯2周波測位

### ◇ **次世代SBASの課題**

◇ 航法メッセージの選択  
～LNAVとCNAVどちらを補強するのか？～

# 次世代SBASの課題

## ～航法メッセージの選択～

◇ 航法メッセージとは

- ◇ 衛星の楕円軌道
- ◇ 原子時計のズレ

SBASが補正するのは  
これらの誤差

◇ 現行SBASが補正するのは

◇ **LNAV**

(Legacy Navigation Message)

- ◇ L1帯信号で配信される
- ◇ 一般的な航法メッセージ

◇ 次世代SBASでは

◇ **LNAV (L1帯) + CNAV (L5帯)**

(Civil Navigation Message)

- ◇ L5帯信号の新しい航法メッセージ



GPS衛星の軌道

[課題]  
どちらを補正すれば  
よいのか？

## ◇目的

- ◇次世代SBASの補強に適する  
航法メッセージ (LNAV or CNAV) を明らかにする

## ◇方針

- ◇LNAVとCNAVの性能比較 (衛星軌道・時計精度)
  - ◇単純な誤差比較：GPS単独測位の観点から
  - ◇誤差変化量比較：SBAS利用の観点から
- ◇航法メッセージの利用に伴う制限
  - ◇L5帯 I-Q相信号の利用

# CNAVとLNAVの性能比較 衛星軌道・時計精度評価



## ◇ 単純な誤差比較

- ◇ GPS単独測位における利用の観点から

## ◇ 比較評価の仕様

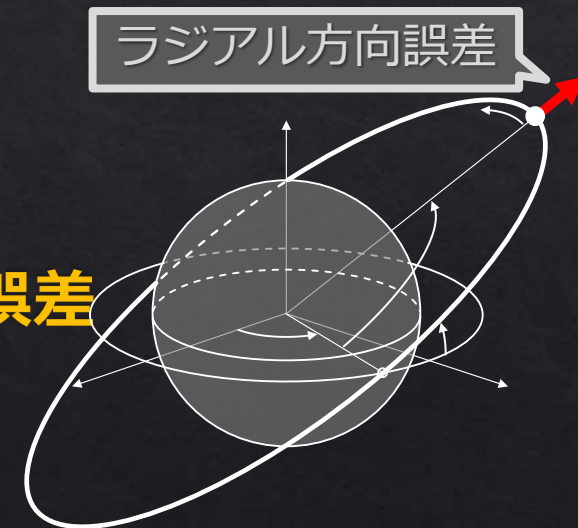
- ◇ リファレンス：**精密暦** (IGS Final)
- ◇ 評価日：2015/11/09 0時～24時

## ◇ 軌道精度の評価

- ◇ 比較：**衛星軌道のラジアル方向の誤差**
- ◇ リファレンスの精度：～2.5 cm

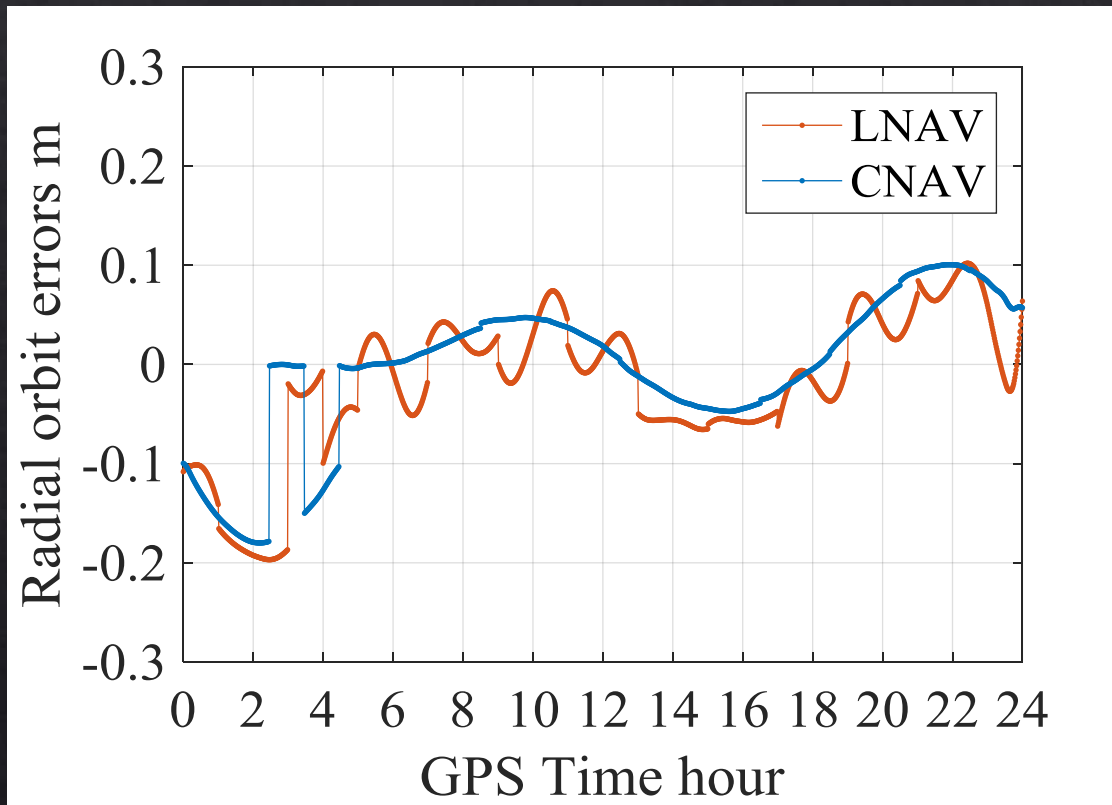
## ◇ 時計精度の評価

- ◇ 比較：**衛星時計のGPS時刻に対する誤差**
- ◇ リファレンスの精度：RMS 75 ps  $\doteq$  2.3 cm



# 衛星軌道精度

◇ PRN06衛星 (Block-IIF) の軌道精度



LNAVとCNAVの  
衛星軌道精度比較

[LNAV (L1)]  
短期的な振動

[CNAV (L5)]  
比較的なだらか

長期的精度

LNAV ≒ CNAV

短期精度

LNAV < CNAV

ラジアル方向誤差の  
1日のRMS

m

LNAV

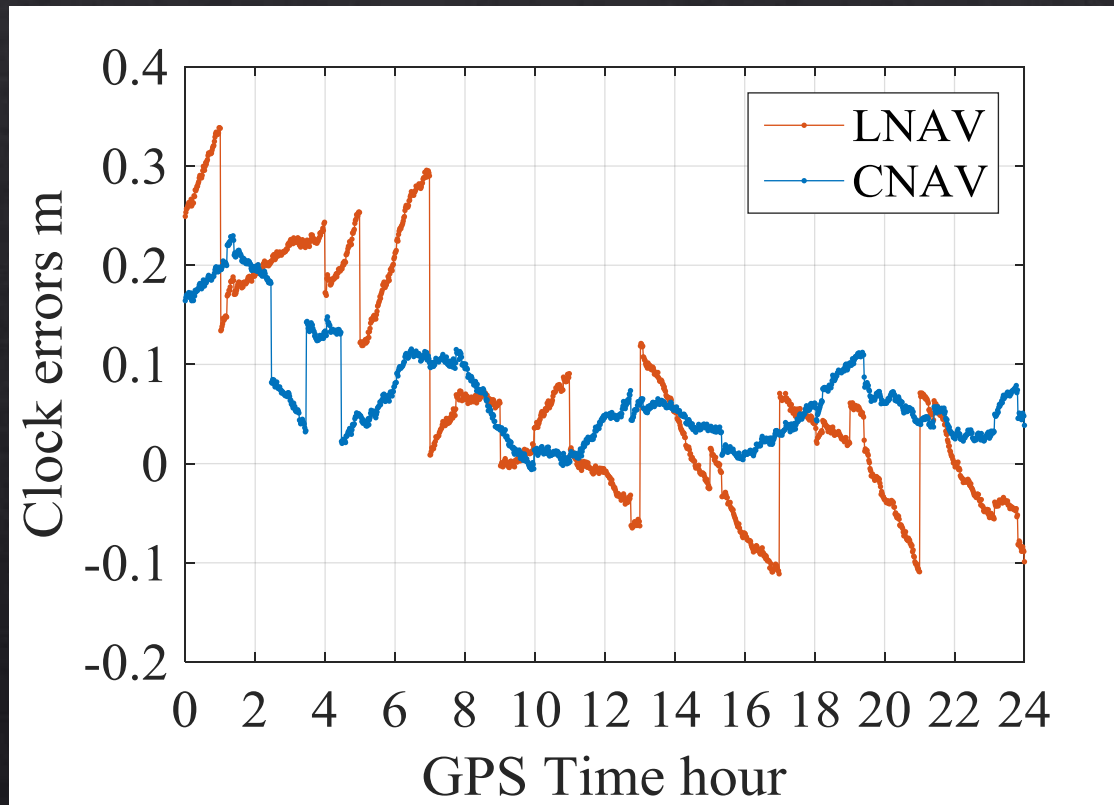
CNAV

0.073

0.071

# 衛星時計精度

## ◇ PRN06衛星 (Block-IIF) の時計精度



## LNAVとCNAVの衛星時計精度比較

[LNAV (L1)]

大きな傾き

[CNAV (L5)]

比較的なだらか

長期的精度

LNAV ≒ CNAV

短期精度

LNAV < CNAV

衛星時計誤差の  
1日のRMS

m

LNAV

CNAV

0.129

0.087

# CNAVとLNAVの性能比較 衛星軌道・時計精度評価

## ◇ [LNAVとCNAVの衛星軌道・時計精度の比較]

◇ **CNAVの短期精度が良好**

◇ **GPSによる単独測位で用いた場合  
CNAVの方が高精度な測位が可能**

## ◇ SBASでは？

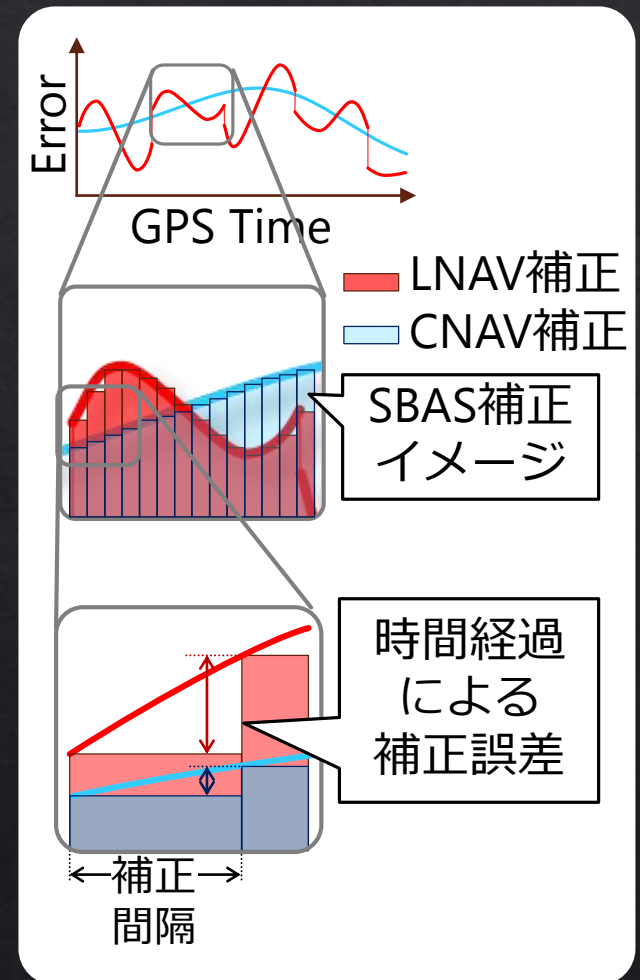
◇ 衛星軌道・時計誤差を逐次補正

◇ 航法メッセージの誤差の  
長期変動は影響しない

◇ **補正更新周期内の変動量**が問題



◇ **変動量を評価する**

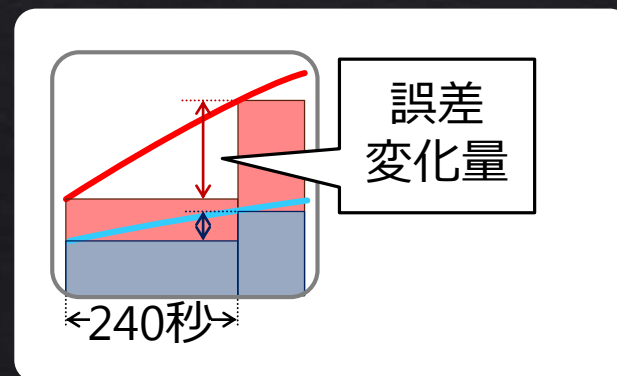




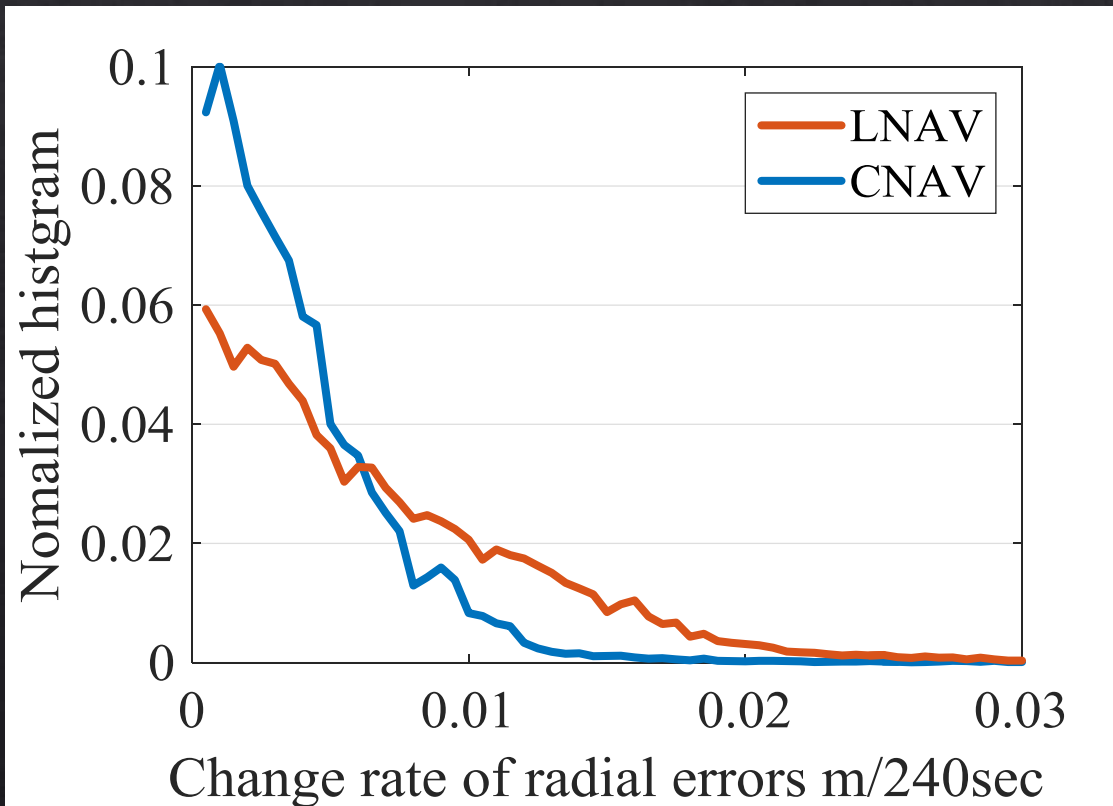
# CNAVとLNAVの 補正間隔における誤差変動比較



- ◇ 補正間隔における**誤差変化量の比較**
  - ◇ SBASにおける利用の観点から
- ◇ 評価
  - ◇ 補正間隔を240秒と仮定
  - ◇ 補正間隔における誤差変動量  
ある時刻の誤差とその240秒後の誤差の差



# 衛星軌道の誤差変動



正規化ヒストグラム

衛星軌道誤差のSBAS補正間隔の変動

SBAS補正間隔における  
誤差変動比較

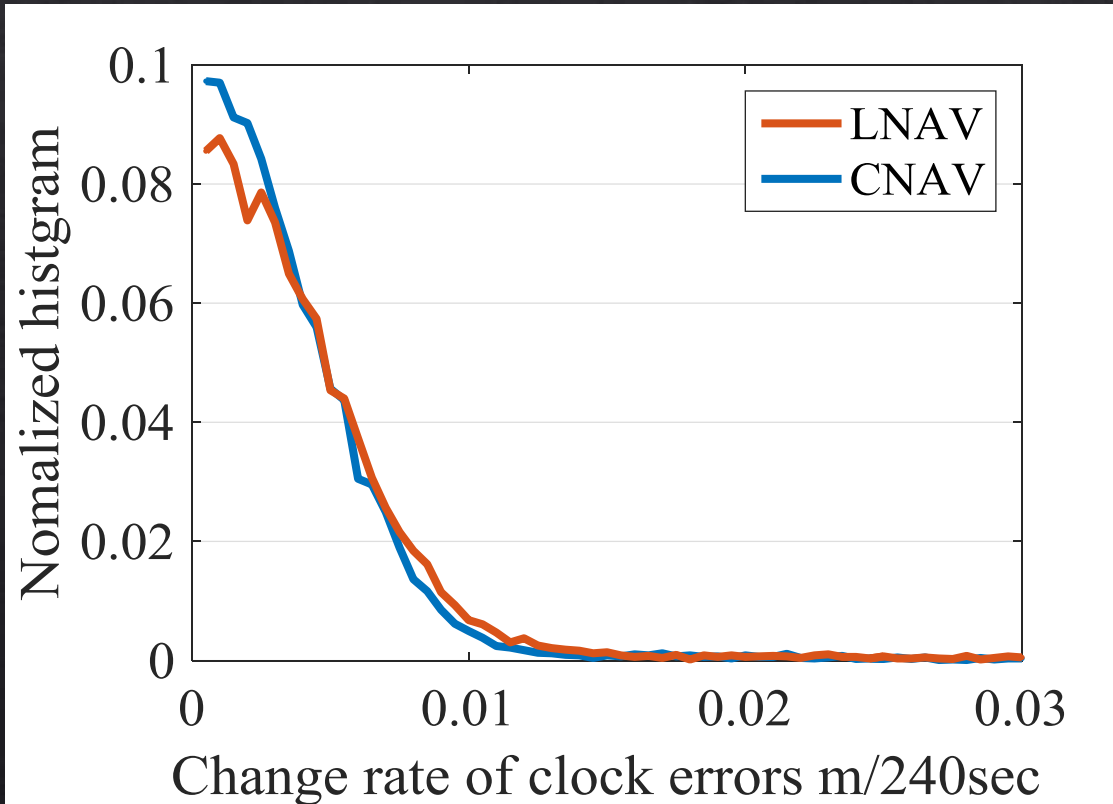
小さな誤差変動の頻度  
確かに**LNAV < CNAV**

ただし、ほとんどが  
**2cm以下で十分小さい**  
軌道補正分解能：6.25cm  
擬似距離雑音：dm級

衛星軌道精度

SBASでは  
**LNAVとCNAVに  
有意な差がない**

# 衛星時計の誤差変動



正規化ヒストグラム

衛星**時計**誤差のSBAS補正間隔の変動

SBAS補正間隔における  
誤差変動比較

小さな誤差変動の頻度  
確かに**LNAV < CNAV**

ただし、ほとんどが  
**2cm以下で十分小さい**  
時計補正分解能：3.125cm  
擬似距離雑音：dm級

衛星時計精度

SBASでは  
**LNAVとCNAVに  
有意な差がない**

# 衛星軌道・時計精度比較 まとめ



- ◇ **誤差変動はCNAV (L5) の方が優秀**だった
  - ◇ 小さな誤差変動の頻度：LNAV < CNAV
- ◇ しかしその差は**1~2cm程度**
  - ◇ SBASによる補正分解能や擬似距離誤差等と比較して十分小さい
- ◇ **有意な差がない**



- ◇ 次世代SBASの補強対象として**LNAVとCNAVは利用適正に差はない**

# 航法メッセージの利用に伴う制限

- ◇ LNAV : 特に無し
- ◇ CNAV : L5帯信号I-Q相選択で制限がある
- ◇ L5帯では2つの測位信号を配信
  - ◇ I相 (In-Phase) : L5I5信号
    - ◇ CNAVを放送
    - ◇ CNAVを利用する ⇒ L5I5信号の受信が必須
  - ◇ Q相 ( Quadrature-Phase) : L5Q5信号
    - ◇ データレス (データ重畳で測距精度が劣化しない)
    - ◇ 高精度な測距信号 ⇒ 積極的に利用したい

## • CNAV利用のデメリット

- L5I5信号の受信が必須
  - ⇒ 測位に高精度なL5Q5信号が利用できない
- もしくはL5Q5信号用のトラッキンググループ追加が必要
  - ⇒ 受信機コストの増加

## ◇ 衛星軌道・時計精度評価

- ◇ 精度は確かに LNAV (L1) < CNAV (L5) だったが
- ◇ 誤差変動は **LNAV・CNAVともに 1～2 cm程度**
- ◇ SBASでは **有意な差がない**

## ◇ 航法メッセージの利用に伴う制限

- ◇ CNAV (L5) を利用すると  
**高精度なL5Q5 (Pilot) 信号の利用が制限される**
  - ◇ 利用できない or トラッキンググループの追加が必要

- ◇ 精度面で有意な差が得られないのに  
CNAV利用は高精度な信号の利用が制限される  
⇒ **次世代SBASでは**  
**LNAV (L1) の利用が適すると考える**

# まとめ



- ◆ **背景** : SBASの次世代規格が検討されている
- ◆ **課題** : 航法メッセージ (LNAV, CNAV)  
どちらを使うべき？
- ◆ **評価** : LNAV (L1) とCNAV (L5) を比較
  - ◆ SBAS利用の視点から衛星軌道・時計精度評価
    - ◆ **LNAVとCNAVで有意な差がない**
  - ◆ 航法メッセージの利用に伴う制限
    - ◆ **CNAV利用は高精度な信号の利用を制限**
- ◆ **結論** :  
**次世代SBASにおける補強ではLNAVの利用が適する**

