

# 準天頂衛星システムの概要



令和4年3月18日

内閣府宇宙開発戦略推進事務局

準天頂衛星システム戦略室

# 目次

---

## 1. 衛星測位

- (1) 衛星測位とは
- (2) 衛星測位の誤差要因(測距誤差)
- (3) ユーザ測位誤差

## 2. 準天頂衛星システム

- (1) 軌道 ～準天頂軌道と静止軌道～
- (2) 地上システム
- (3) 補完サービス ～PNT～
- (4) 補強サービス ～SLAS～
- (5) 補強サービス ～CLAS～

参考 配信サービスと信号諸元

# 1. 衛星測位

## (1) 衛星測位とは

複数の衛星を用いて、ユーザに正確な位置、時刻を、リアルタイムに提供する技術  
衛星を基準とした三点測距(or三辺測量)の応用

### ① 擬似距離

衛星アンテナから電波を送出した時刻と、ユーザ受信機アンテナで電波を受信した時刻の差に光速を乗じて、擬似距離(Pseudorange)を求める。

#### ■ 擬似距離

$$\begin{aligned}\rho &= [(t_r - \delta t) - t_s] \times c + \varepsilon \\ &= (t_r - t_s) \times c - \delta t \times c + \varepsilon \\ &= \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2 + (z_s - z_r)^2} - T + \varepsilon\end{aligned}$$

- $\rho$ : 擬似距離
- $t_r$ : 信号受信時刻
- $t_s$ : 信号送信時刻
- $\delta t$ : 受信機クロックバイアス、 $T$ : 距離換算した受信機クロック誤差
- $c$ : 光速(=秒速300000km)
- $x_s, y_s, z_s$ : 衛星の位置座標@信号送信時
- $x_r, y_r, z_r$ : 受信機の位置座標@信号受信時
- $\varepsilon$ : ノイズ、その他の誤差

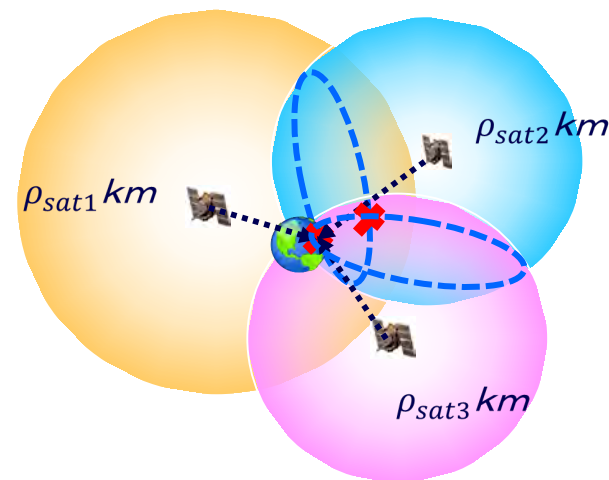
### ② 測位演算

同時に求めた**4つ以上の擬似距離**から、未知数( $X, Y, Z, T$ )を解く。

$X, Y, Z$  : ユーザ受信機の位置

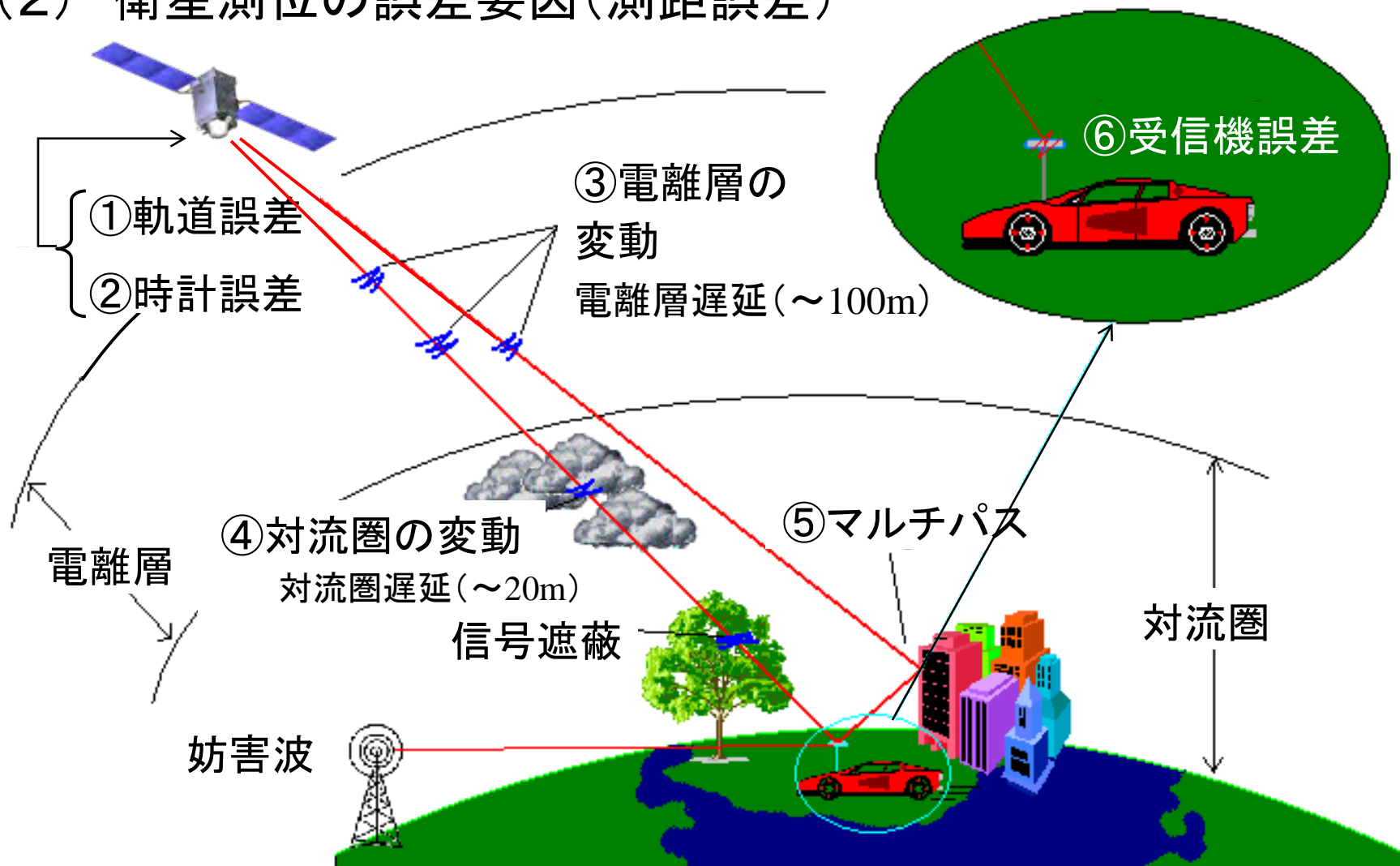
$T$  : ユーザ受信機の時計誤差

→ **4機以上の衛星信号を受信する必要あり。**



# 1. 衛星測位

## (2) 衛星測位の誤差要因(測距誤差)



各誤差をいかに低減できるかが測位精度に効く

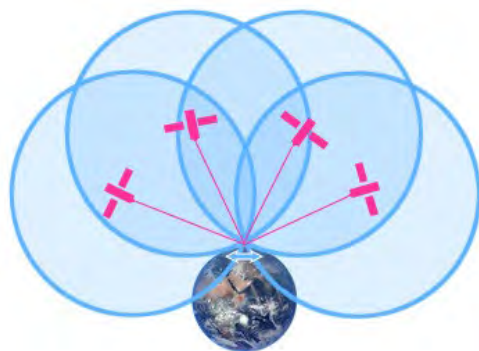
# 1. 衛星測位

## (3) ユーザ測位誤差

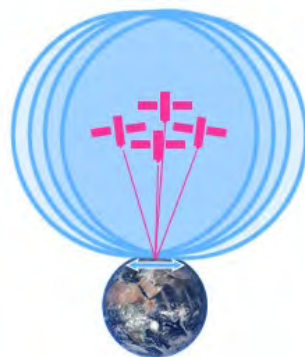
$$\sigma_{\text{position}} = DOP \times \sigma_{\text{observation}}$$

ユーザ測位誤差  $\parallel$   $\uparrow$   $\parallel$  測距誤差

**Dilution of Precision (精度劣化指数)**  
衛星の配置の良し悪しを示す指標。  
時々刻々と変化する。



衛星が分散している状態  
= DOP値が小さい  
= 測位精度が高い



衛星が偏った状態  
= DOP値が大きい  
= 測位精度が低い

衛星測位の誤差配分の例

誤差源	配分値
HDOP(*1)	2.6
測距誤差	0.38 m
測位信号の誤差(*2)	0.15 m
ユーザ機器の誤差(*3)	0.35 m
測位誤差(測位精度)	<b>1.0 m</b>

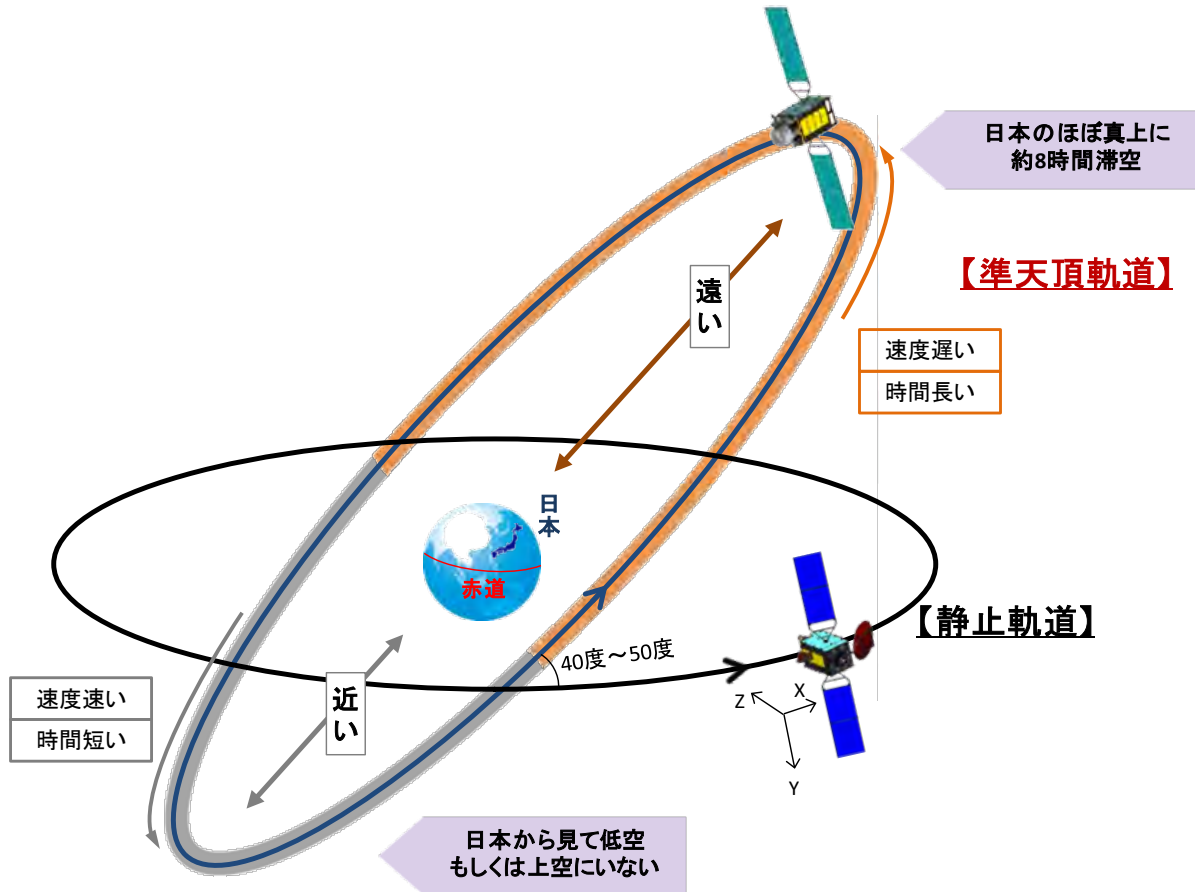
- \*1 DOPのうち、水平方向成分
- \*2 衛星の軌道伝搬誤差・時刻伝搬誤差等、信号そのものに起因する誤差
- \*3 伝搬誤差(電離層・対流圏遅延等)や受信機ノイズ等に起因する誤差

良好な測位精度を得るためには良好なDOPを得ることのできる衛星コンステレーションが必要

## 2. 準天頂衛星システム

### (1) 軌道 ～準天頂軌道と静止軌道～

- 赤道上空、高度約3.6万Kmを地表面に対しほぼ静止して周回する静止軌道に対し、40～50度傾斜し遠地点が日本上空近傍となる楕円軌道(離心率0.075)を準天頂軌道と呼ぶ。
- 日本上空に滞在する時間を長くとれる。(面積速度一定の法則(ケプラーの第2法則))
- 準天頂軌道の3機が順次日本上空を訪れる軌道に投入し、常に高仰角から信号を送信する。



# 2. 準天頂衛星システム

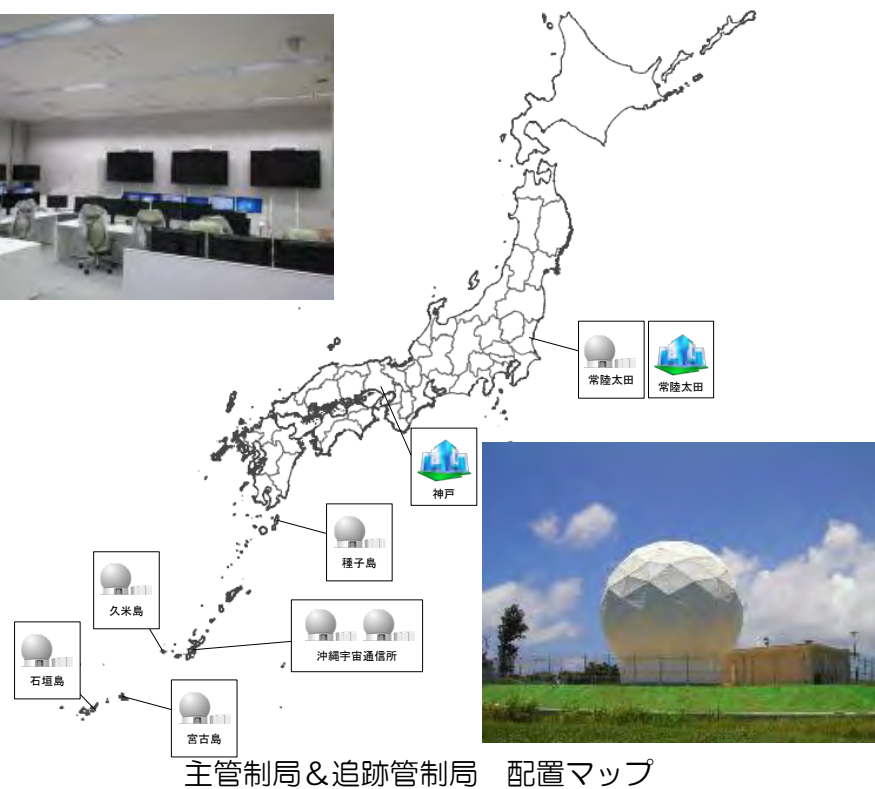
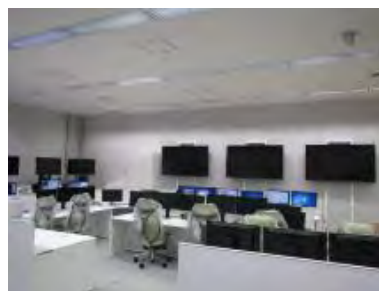
## (2) 地上システム

### 【主管制局】

局名	備考
常陸太田	主局
神戸	副局

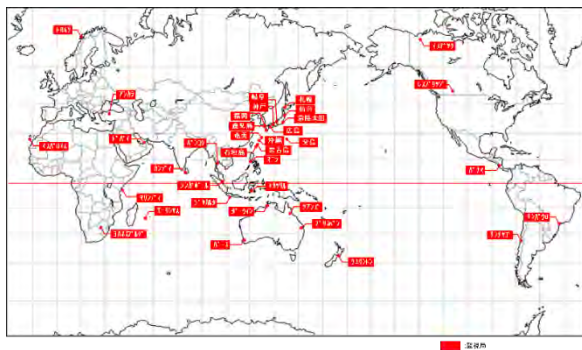
### 【追跡管制局】

局名	局識別	備考 (適宜変更する)
常陸太田	C/Ku局	バックアップ局
種子島	C/Ku局	QZS3 (GEO) 主局
沖縄	C局	QZS4主局
久米島	C局	QZS2主局
宮古島	C/Ku局	バックアップ局
石垣島	C局	QZS1主局
(新設中)	C局	精度向上対応の局を整備中



### 【監視局】

国内13局  
海外23局



## 2. 準天頂衛星システム

### (3) 補完サービス ~PNT~

GPSと互換性のある測位信号を送信して、安定した測位を提供する。

#### ・衛星数の増加

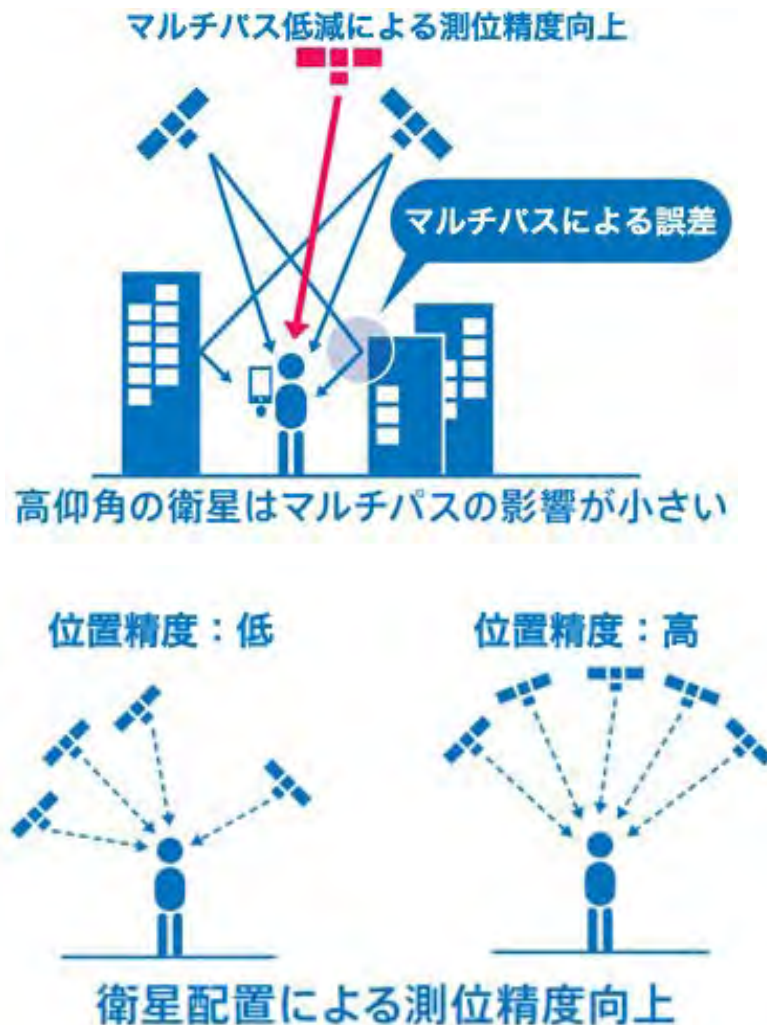
GPSと互換性のある信号を送信し、精度に影響する衛星数を増加させる。

#### ・衛星配置(DOP)の改善

上空にまんべんなく広がった配置となるよう、天頂付近に長時間滞在し、DOPを低減。

#### ・マルチパスの低減

高仰角の測位信号は、精度劣化の要因となるマルチパスを回避することが可能





## 2. 準天頂衛星システム

### (3) 補完サービス ~PNT~

#### • 電離圏誤差の補正

##### ① 複数波の信号による電離圏誤差の改善

- 電離圏による電波の速度遅延は、電波の周波数に応じて異なる性質を有することから、電離圏の遅延による誤差は、「1つの衛星」から発せられる「**複数の周波数の電波**」を同時に受信することにより推定が可能。
- L1C/A信号に加え、L2C信号やL5信号を配信して電離圏誤差を改善している。



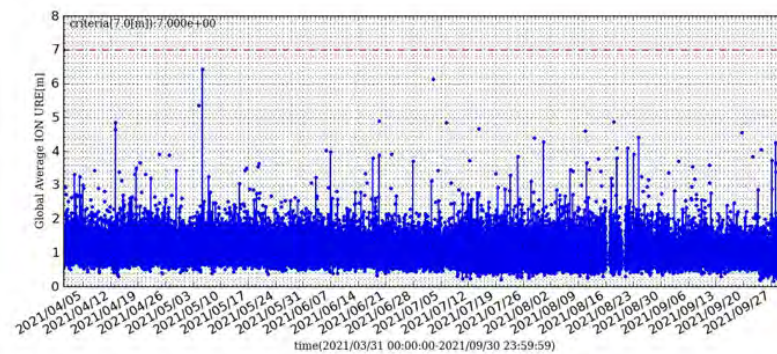
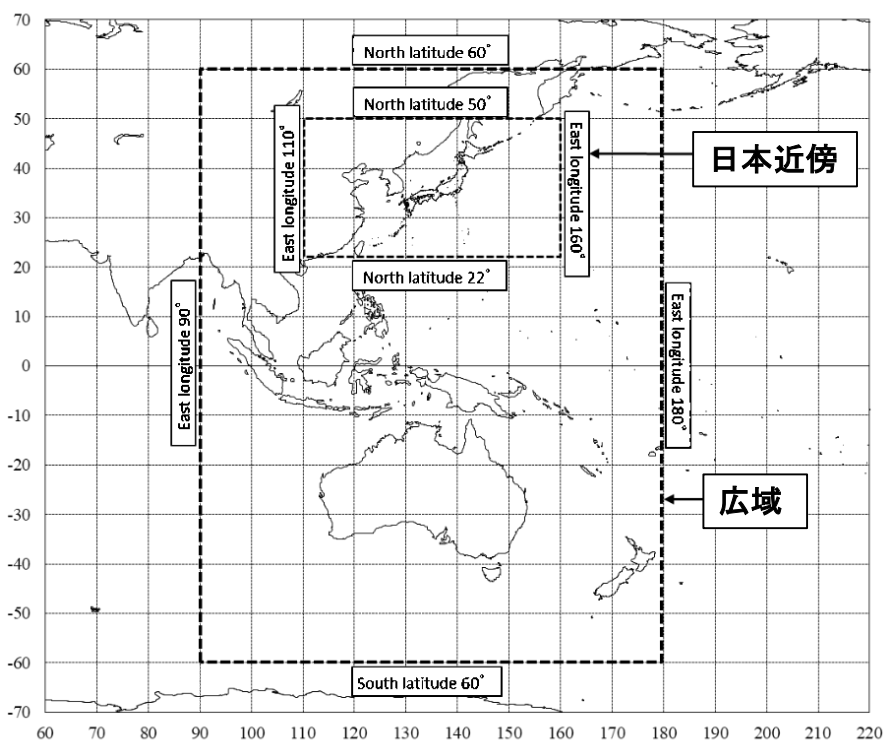
##### ② 1周波の信号による電離圏誤差の改善

- 電離圏の状況を**モデルで近似 (KLOBUCHARモデル)**し、モデルのパラメータを軌道情報などと合わせて測位信号として送信することにより、電離圏誤差を補正する。
- GPSは、地球全体を1つの方程式で近似するのに対し、準天頂では、「東南アジア・オセアニア地域」と「日本付近」の2種類のパラメータを作成して送信している。
- 近似式は、対象領域を狭くするほど精度が向上するので、日本付近や東南アジア・オセアニア地域では、みちびきが送信する「KLOBUCHARモデルパラメータ」を使用することで測位精度が向上する。

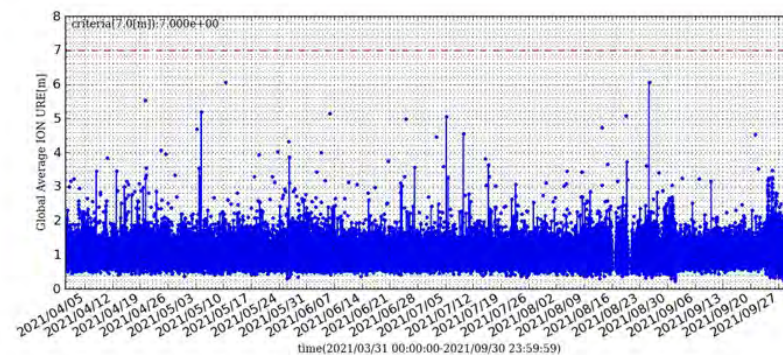
## 2. 準天頂衛星システム

### (3) 補完サービス ~PNT~

- 電離圏誤差の実績(2021/4/1~2021/9/30)
- 準天頂衛星のPNTサービスが配信した日本近傍および広域の電離層補正パラメータ精度(電離層URE $\leq 7.0\text{m}$ (95%))の評価結果(FY2021上期)を以下に示す。電離層の影響が大きい「日本近傍」において「広域」と同等の精度になっている。



電離層URE(日本近傍)



電離層URE(広域)

## 2. 準天頂衛星システム

### (4) 補強サービス ～SLASとCLAS～

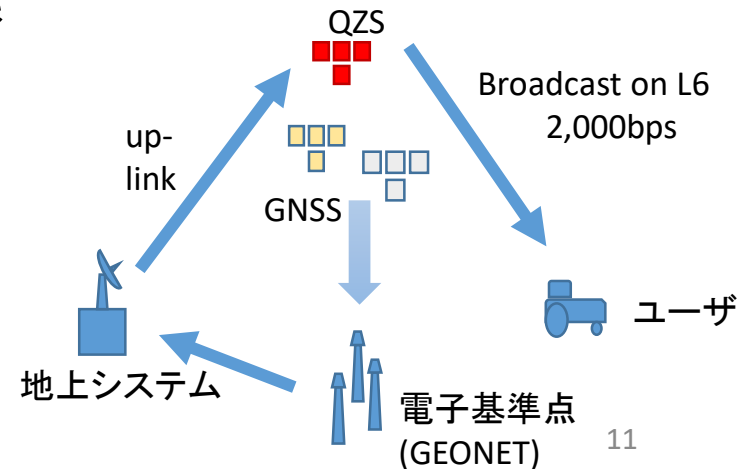
- SLAS Sub-meter Level Augmentation Service

- 誤差の補正情報(DGPS方式)をL1S信号で配信し、サブメータ級の精度を実現
- 補強対象: GPS L1-C/A、QZSS L1-C/A



- CLAS Centimeter Level Augmentation Service

- 誤差の補正情報(PPP-RTK方式)をL6D信号で配信し、センチメータ級の精度を実現
- 補強対象:
  - GPS: L1C/A,L1C,L2P,L2C,L5
  - QZSS: L1C/A,L1C, L2C,L5
  - Galileo: E1B,E5a



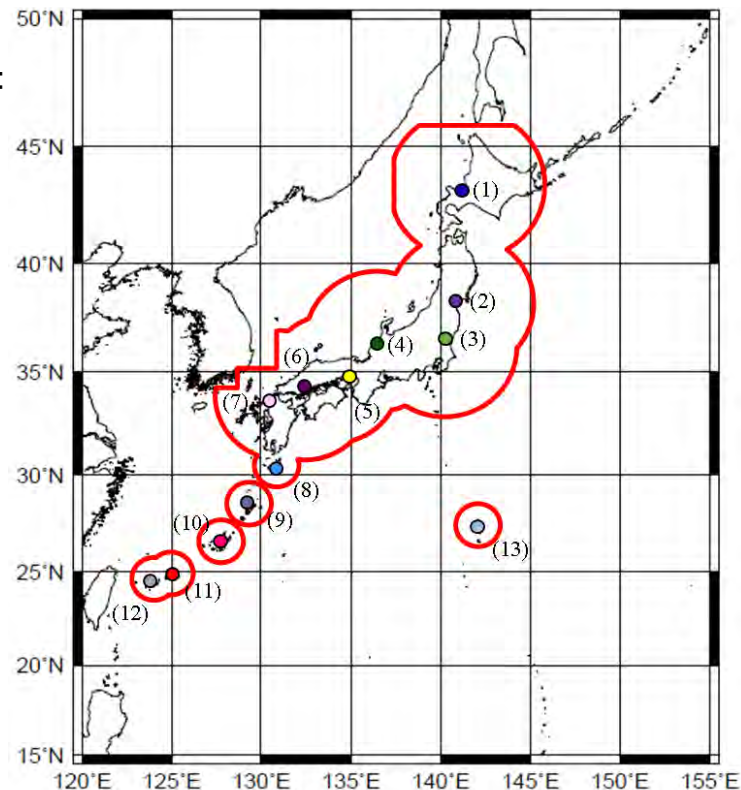
## 2. 準天頂衛星システム

### (4) 補強サービス ～SLAS～

- SLASの補強情報は、ユーザが受信する**誤差要因をまとめて補正**できる形式で放送しており、電離圏による影響も含まれる。
- 電離圏は、日本上空の場合、**南方に行くにつれてより活動が活発**になる傾向がある。
- 活動が活発な領域は、1つの基準局の測位精度がカバーできるサービス範囲が、活動が静穏な地域と比較して狭くなる。
- そのため、SLASでは**南方の基準局の配置を北方よりも近い間隔で設置**し、国内のサービス範囲を維持できるように配慮している。

サブメータ基準局:

- (1)札幌
- (2)仙台
- (3)常陸太田
- (4)小松
- (5)神戸
- (6)広島
- (7)福岡
- (8)種子島
- (9)奄美
- (10)糸満
- (11)宮古島
- (12)石垣島
- (13)父島



測位精度 95%値*	
水平	垂直
1.0 m以下	2.0 m以下

\*補強対象：GPS(L1C/A)、QZSS(L1C/A)

## 2. 準天頂衛星システム

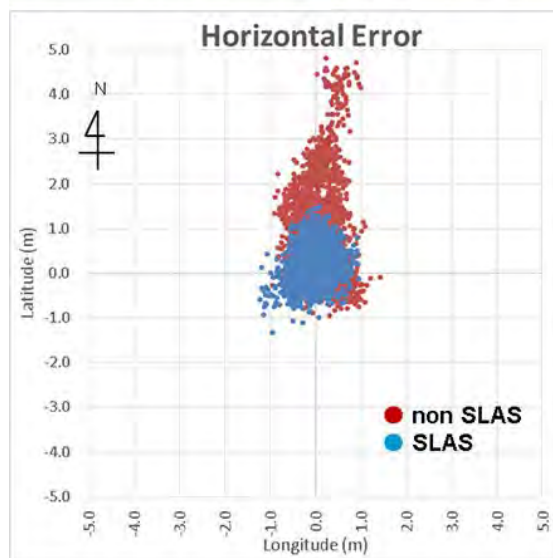
### (4) 補強サービス ~SLAS~

- SLAS測位と単独測位との測位精度の比較結果の例を以下に示す。

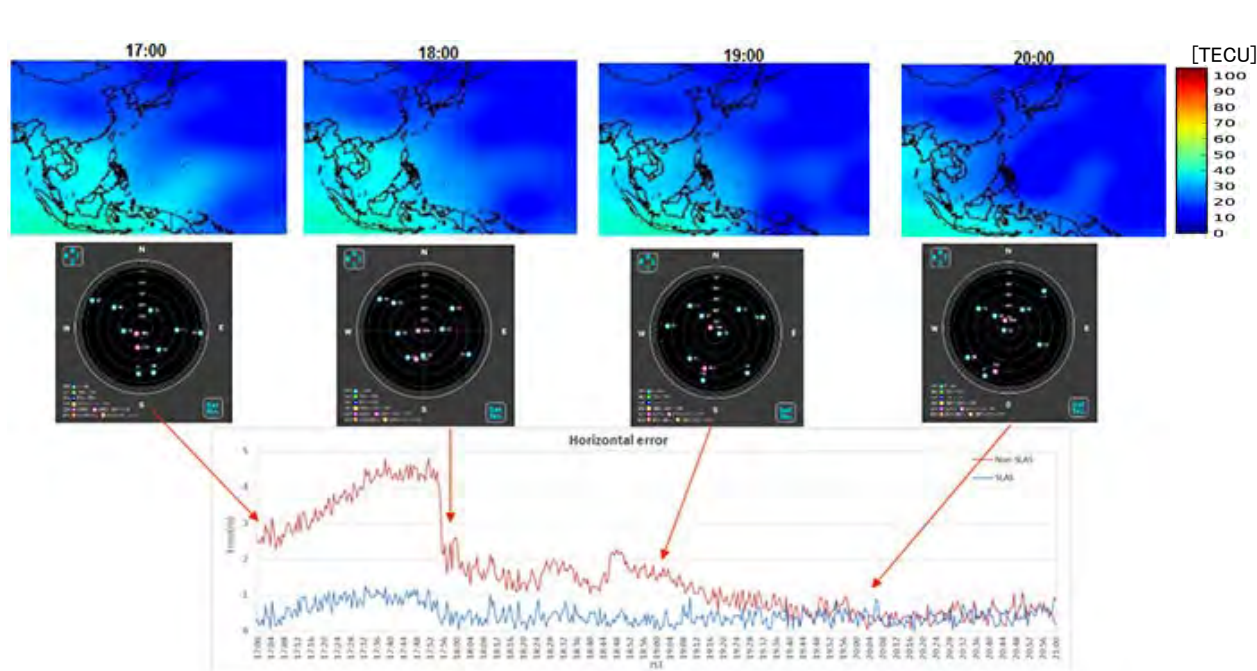
評価日: 2017年11月28日

評価点: 電子基準点 伊良部

	Horizontal		Vertical	
	SLAS	non-SLAS	SLAS	Non-SLAS
平均	0.46	1.01	0.77	2.01
1 $\sigma$	0.72	1.87	1.39	3.25
2 $\sigma$	0.98	2.73	2.00	4.50
95%	0.96	2.65	1.95	4.53



測位誤差(水平)のプロット



電離圏活動(TEC)、衛星配置と測位誤差(水平)の推移

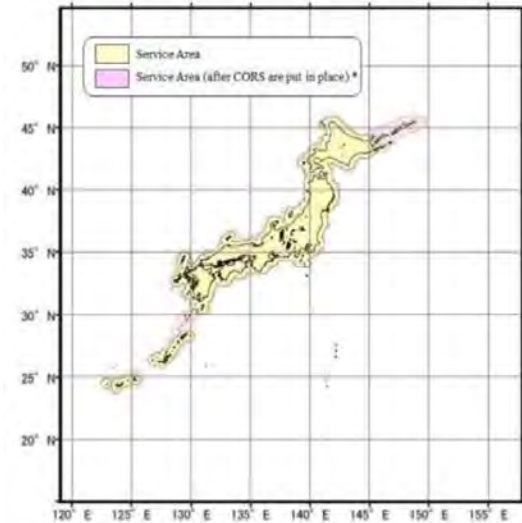
- SLAS測位は単独測位と比較して電離圏活動による測位精度への影響が小さいことを示唆している。

## 2. 準天頂衛星システム

### (4) 補強サービス ～CLAS～

- CLASの補強情報は、**ユーザが受信する電離層などの誤差要因**を状態空間表現(State Space Representation; SSR)を用いたカルマンフィルタにより**個別に推定**し、従来の地上配信方式の1/1000に情報量を圧縮して放送している。
- 電離圏は、日本上空の場合、南方に行くにつれてより活動が活発になる性質がある。そのため、**12のエリアに分割し、地域ごとの電離圏の影響に応じて補正**している。
- 電離圏擾乱などの影響により補強精度が劣化した(測距精度が低い)衛星に対する補強情報は配信から除外すると共に、PPP-RTK(Precise Point Positioning-Real Time Kinematic)測位に影響を与える品質指標としてQuality Indicatorを配信し、ユーザに通知している。

測位モード	測位精度 95%値	
	水平	垂直
静止体モード	6 cm以下	12 cm以下
移動体モード	12 cm以下	24 cm以下



CLASのサービスエリア

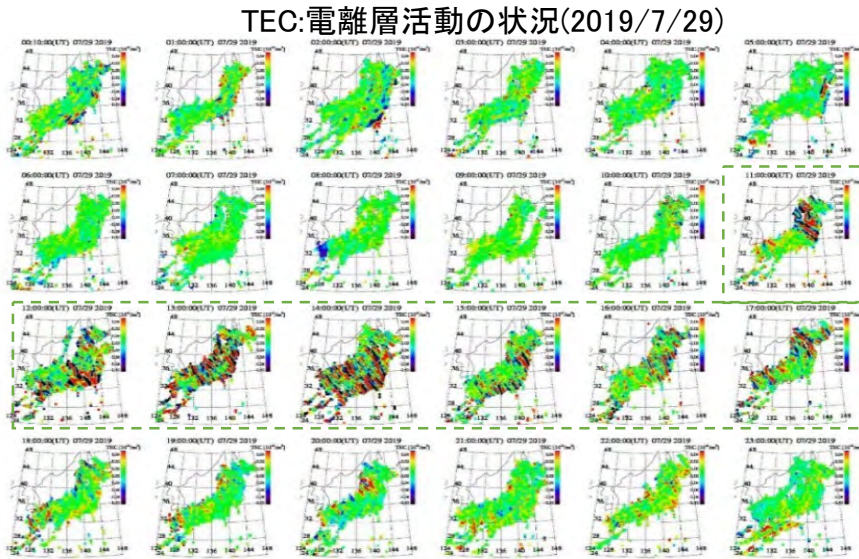


CLASの12エリア

# 2. 準天頂衛星システム

## (4) 補強サービス ~CLAS~

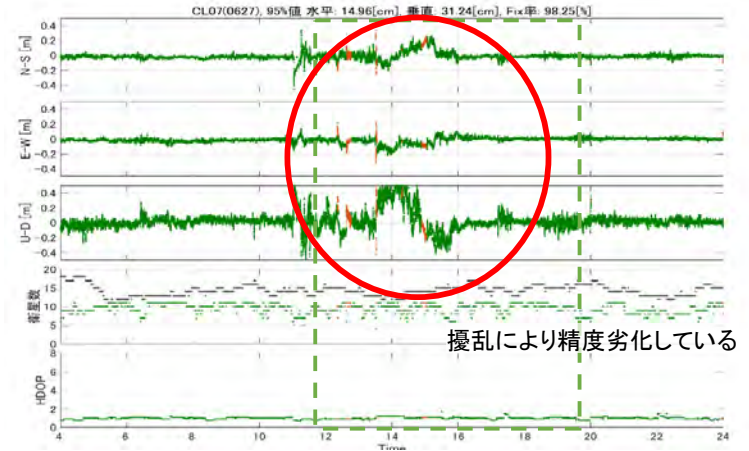
- CLASサービスインの当初は、電離圏活動の影響により、補強対象の衛星数が減少し、精度が劣化することが問題となった。
- 現在は、電離圏活動に応じて適応的な情報圧縮が可能なローカル補正のフォーマットを適用することで、補強対象の衛星数を増加させており、安定して、センチメートル級測位を実現している。



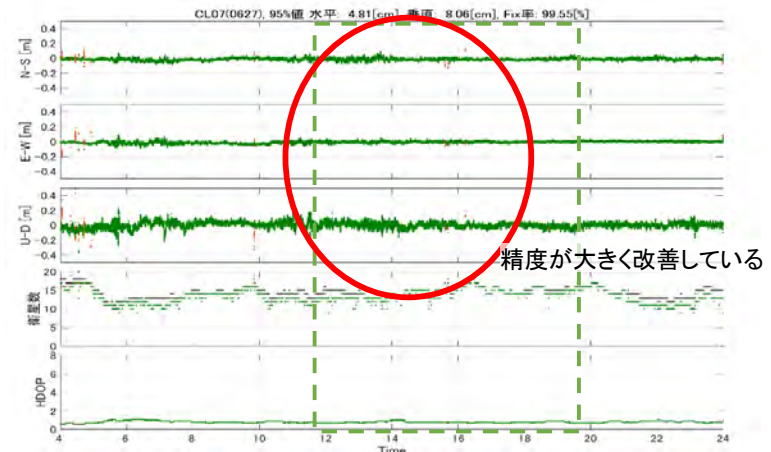
電離層擾乱の時間帯  
(11:00~18:00UT)

出典: <http://seg-web.nict.go.jp/GPS/GEONET/>  
 TEC: 電離層総電子数として定義。電離層擾乱を客観的に示す指標。

従来フォーマットの場合



適応型フォーマットの場合



# 参考 配信サービスと信号諸元

信号名称	1号機	2-4,1R号機		配信サービス	中心周波数	変調方式	Bit Rate	備考
	準天頂軌道	準天頂軌道	静止軌道					
	1機	3機	1機					
L1C/A	○	○	○	衛星測位サービス	1575.42 MHz	BPSK	50bps	GPS 互換
L1C	○	○	○	衛星測位サービス		BOC TMBOC	約50bps	
L1S	○	○	○	サブメータ級測位補強サービス		BPSK	250bps	-
				災害・危機管理通報サービス				
L2C	○	○	○	衛星測位サービス	1227.60 MHz	BPSK	25bps	GPS 互換
L5	○	○	○	衛星測位サービス	1176.45 MHz	QPSK	50bps	GPS 互換
L5S	-	○	○	測位技術実証サービス		QPSK	250bps	-
L6	○	○	○	センチメータ級測位補強サービス	1278.75 MHz	BPSK	2kbps	-
Sバンド	-	-	○	衛星安否確認サービス	2GHz	上り) BPSK 64bps 下り) BPLK/SS 4.46kbps		-