

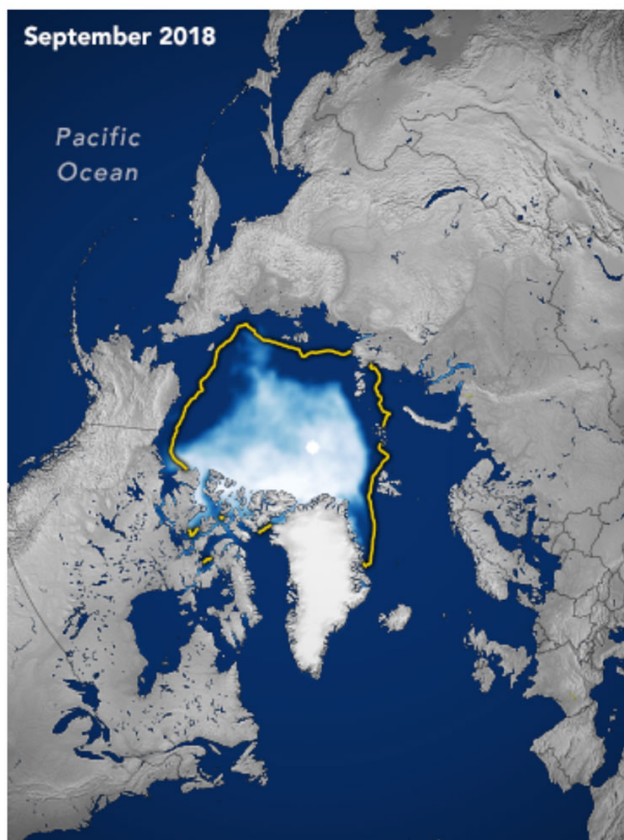
# 北極域における 次世代測位補強システムの利用

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

電子航法研究所

高橋 透

# 概要



Sea Ice Concentration (%)

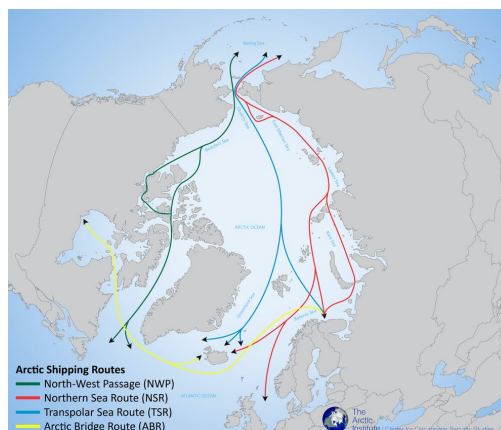
0 25 50 75 100

出典：[https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/sea\\_ice.php](https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/sea_ice.php)

- 数値シミュレーションによって、2030年から2080年の夏季に”ice free”の時期がしばしば到来するのではないかと予測されている。
- これに伴って北極海航路の開拓や海洋資源調査が活発化すると考えられる。また、インフラの脆弱な北極域の空港の需要も増すことが予想される。

## 北極域における正確な衛星測位の需要が高まる。

北極海航路



出典：<https://theconversation.com/northwest-passage-crossed-but-its-not-a-boon-for-business-18853>

北極域の空港

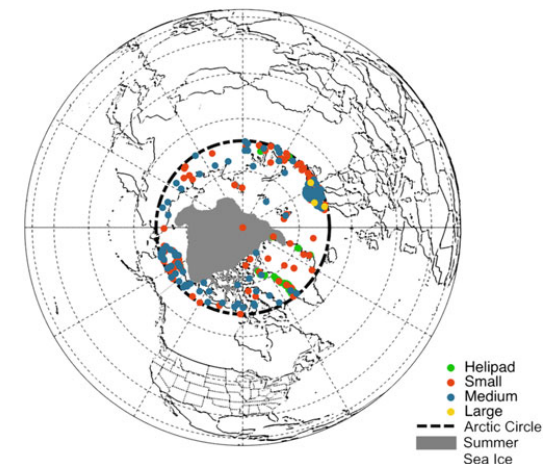
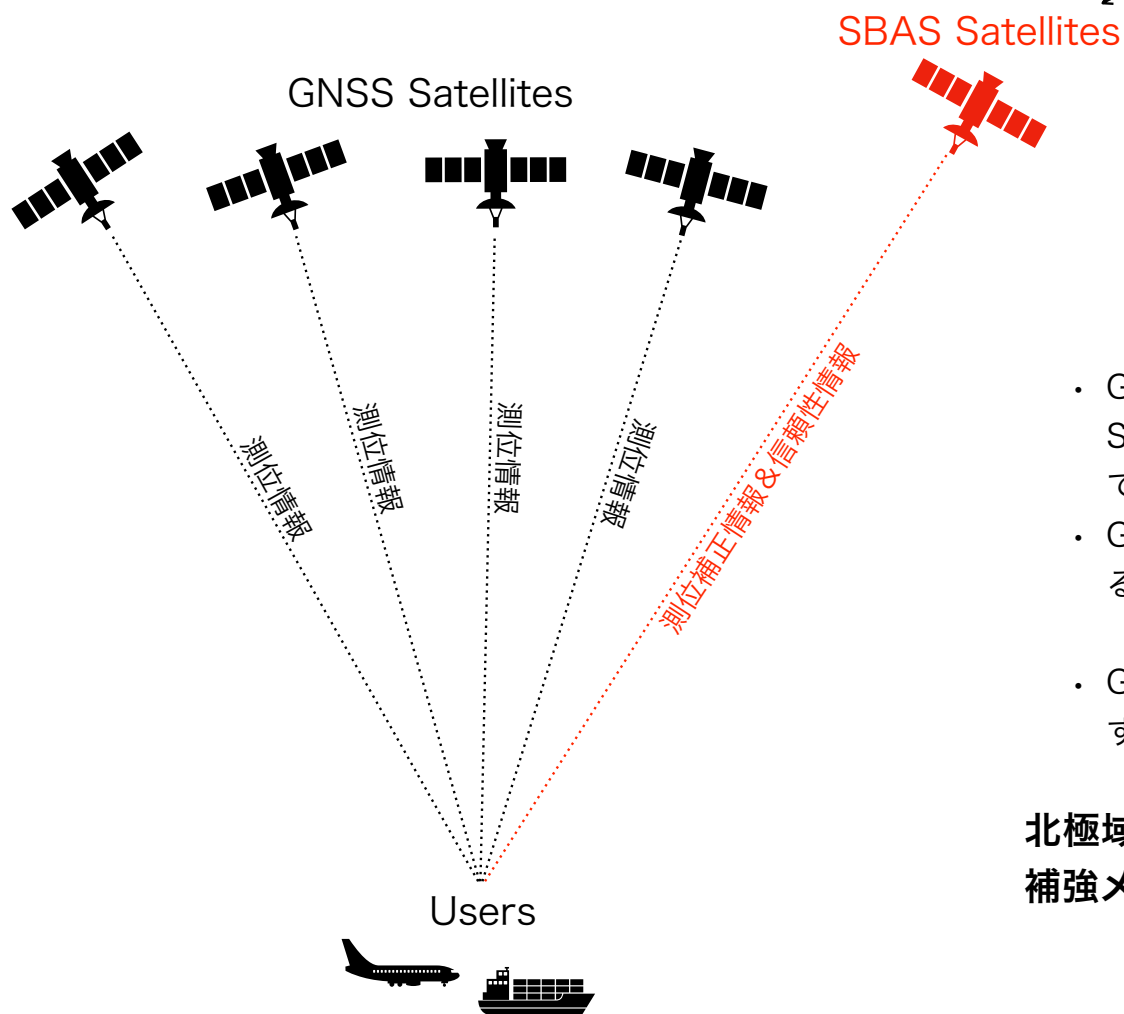


Fig. 1—Airports in the Arctic Circle (based on data from [openflights.org](http://openflights.org) and [ourairports.com](http://ourairports.com)) [Color figure can be viewed at [wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com) and [www.ion.org](http://www.ion.org)]

Reid et al., 2016

# 次世代の測位システム



## SBAS: Satellite Based Augmentation System

補強メッセージを主に静止軌道に配置された衛星から放送する。

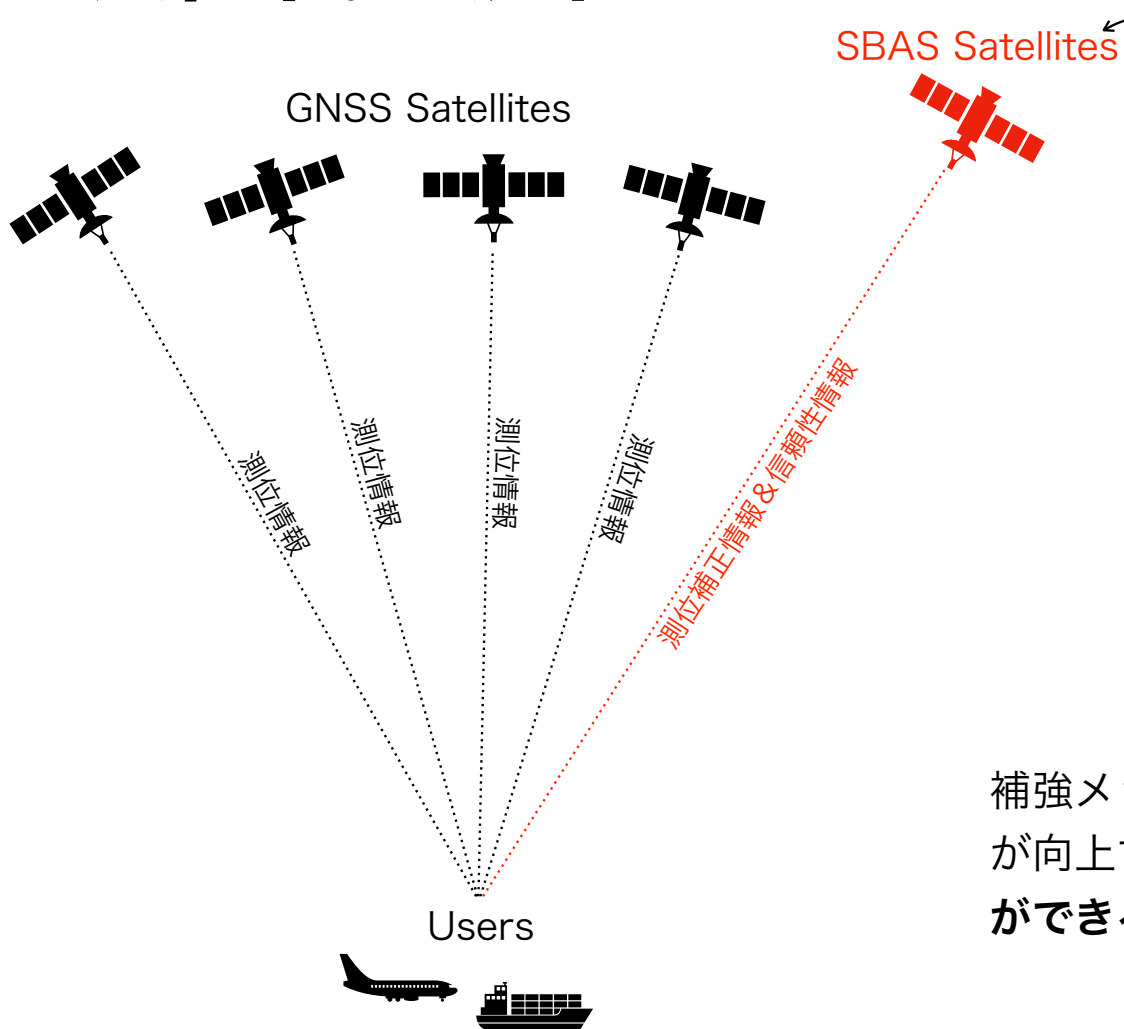
測位補正情報：各衛星の誤差情報。

信頼性情報：測位結果がどの程度信頼できるか？

- GPSに代表される測位衛星（GNSS: Global Navigation Satellite System）を利用することで地球上の位置を知ることができる。
- GPS衛星系だけでなく、Galileo衛星系、QZSS衛星系の2を用いることで、制度を向上させることができる。（DFMC: Dual）
- GNSSの測位に加えて補正メッセージを用いることで測位を補正することに加え、その測位の信頼性も得ることができる。

北極域での活動（資源調査、航路開拓、航空機の離着陸）には補強メッセージを用いた衛星測位が有効(Reid et al., 2016)。

# 次世代の測位システム

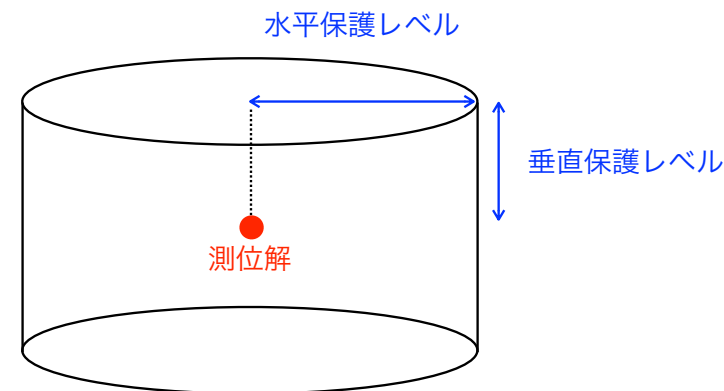


## SBAS: Satellite Based Augmentation System

補強メッセージを主に静止軌道に配置された衛星から放送する。

測位補正情報：各衛星の誤差情報。

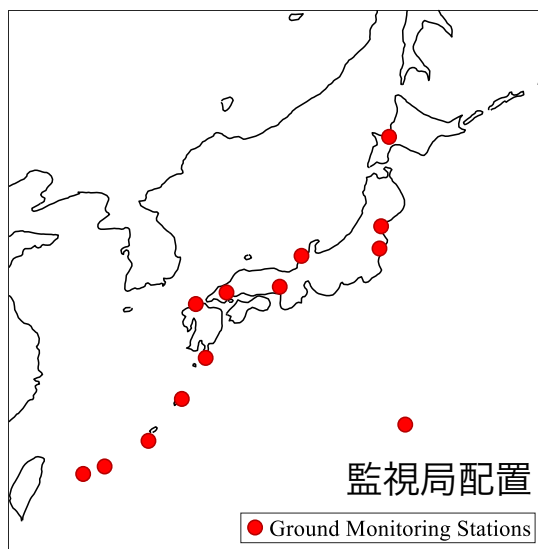
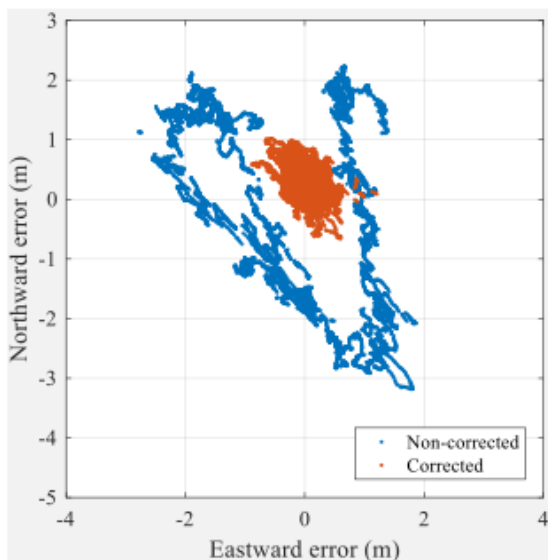
信頼性情報：測位結果がどの程度信頼できるか？



補強メッセージを使うことで衛星位置の補正を行い、測位精度が向上することに加えて、**水平・垂直保護レベル**を求めることができる。（保護レベル：とても保守的なエラーバー）



# 次世代の測位システム



GPS+Galileo+QZSS  
Dual Frequency (L1+L5)  
DFMC L5 SBAS  
Location:  
GEONET 950369 (Wakayama)  
Period:  
2017/11/13 01:00 - 07:00 (6H)

- L5 SBASメッセージをリアルタイムに生成し、評価した例。  
GPS/Galileo/QZSS対応、L1/L5二周波数モードで動作。  
プロトタイプシステムが生成したメッセージを、擬似ユーザ受信機で評価。
- L5 SBASによりGPS+Galileo+QZSSの補強が可能であることを確認。

## 次世代測位システム (DFMC SBAS)

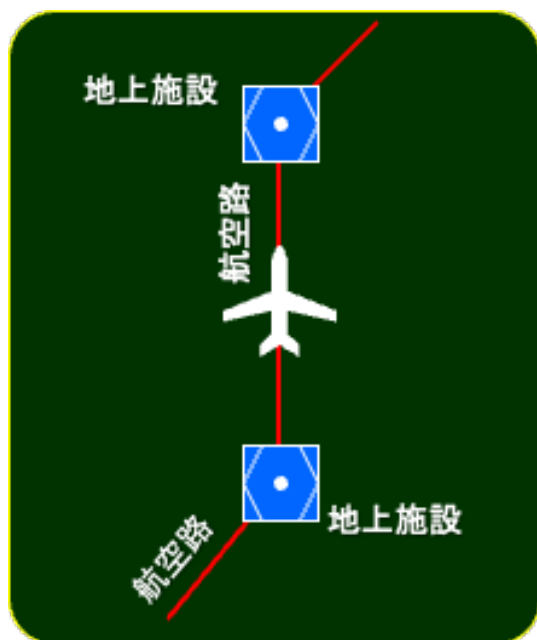
### Dual-Frequency MultiConstellation

1つの周波数だけでなく、2つの周波数を用いる。GPS衛星系だけでなく、Galileo、QZSS衛星系などを利用して測位を行う。

### Satellite Based Augmentation System

衛星の測位情報を補正し、信頼性 (インテグリティ) 情報を付与する。

# はじめに：航空航法への利用



地上施設による航法

- ・ 地上施設から送信される無線信号による航法。
- ・ 地上施設を結ぶ経路（航空路）をジグザグに飛行する。



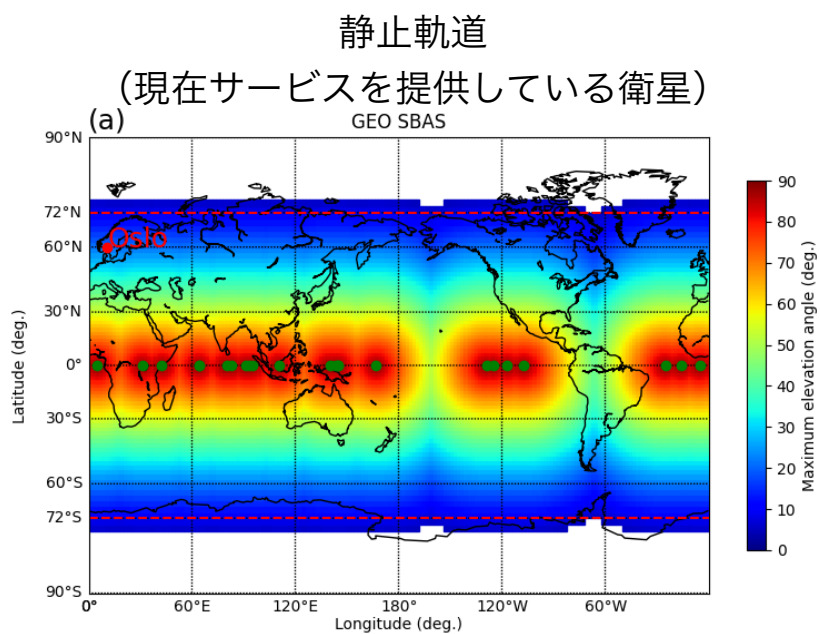
衛星航法を利用

- ・ 衛星航法システムにより自己の位置を計算しながら飛行する。
- ・ ウェイポイントを任意に設定し、その間を直行できる。

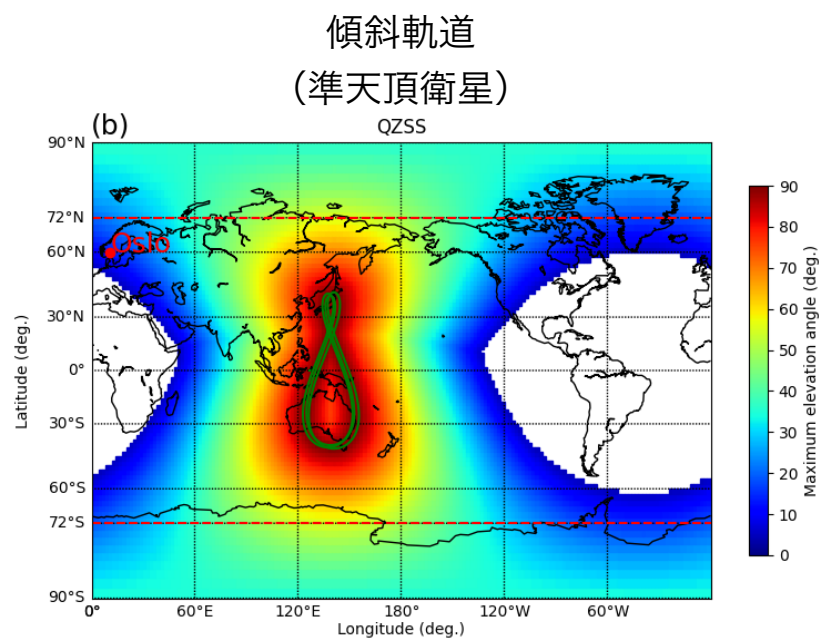
安く早く目的地に着ける。

# 衛星の配置

静止軌道に配置された補強メッセージを放送する衛星の見える方。  
赤いほど見えやすく、青いほど見えにくい。白の部分は全く見えない。



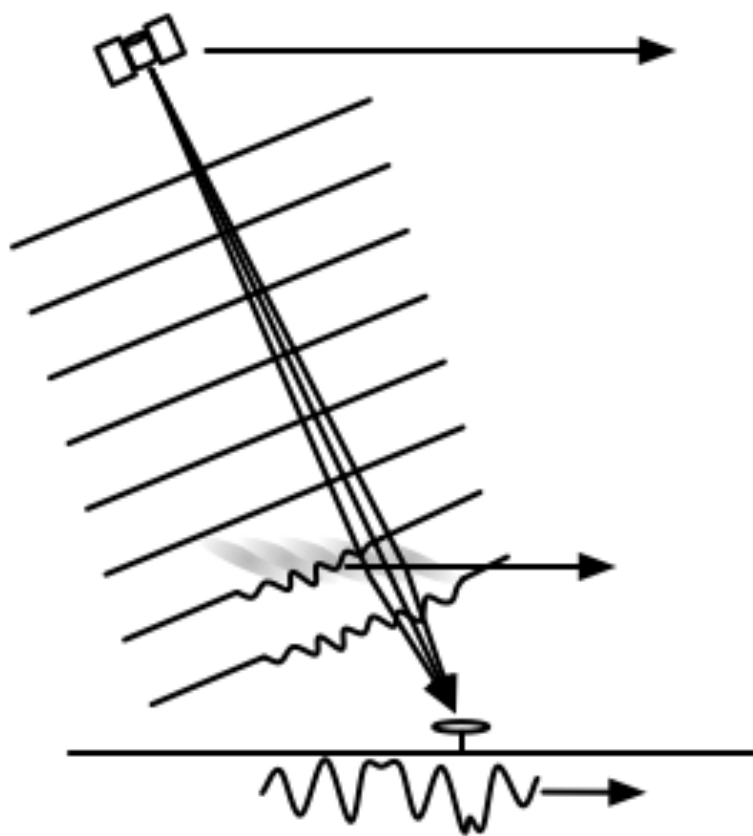
需要が高まることが期待できる北極（及び南極）では静止軌道に配置された衛星からの信号は受信できない。



北極（及び南極）では準天頂衛星の信号を受信することができる。

# 電離圏シンチレーション

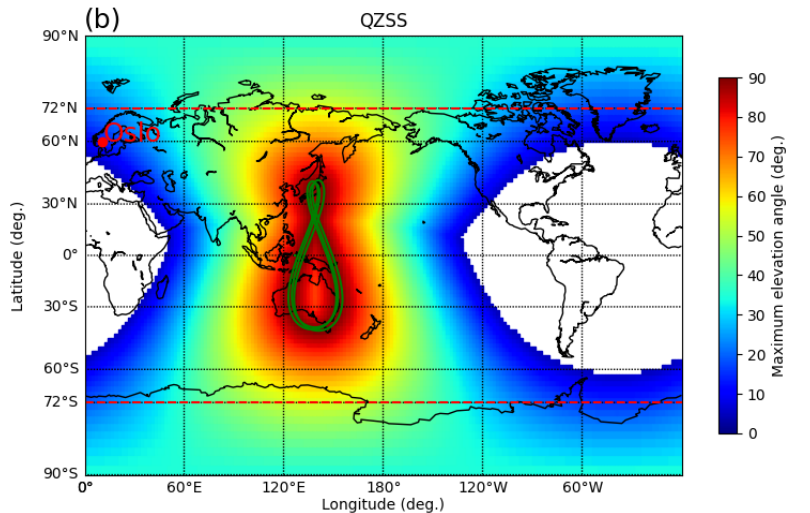
## 位相シンチレーション



プラズマの粗密構造の密の領域を通過した電波の位相は早くなる。プラズマの粗密構造が高速で動くと受信機で位相がゆらぐ。

低緯度ではプラズマを動かす電場が強くないため、日本上空ではあまり見られないが、電場の強さが低緯度の10倍程度大きい極域ではよく発生する。（但し極域では赤道ほど粗密構造のコントラストが大きくないので振幅シンチレーションはあまり観測されない。）

# 北極海でのQZSSから放送されるDFMC SBASの活用



## DFMC SBASの特徴

衛星位置と衛星時計を補正し、測位の精度が向上する。また、保護レベルの計算を行うことができるようになる。

→測位を補強でき、その安全性が担保できる。

## QZSSの特徴

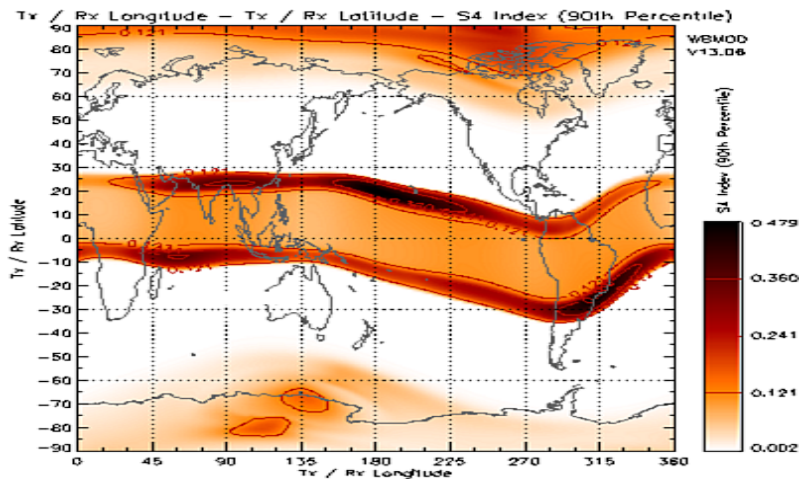
静止軌道の衛星の信号は極域では受信できない。その一方QZSSの信号は極域で受信可能である。

→北極域でのDFMC SBASの利用可能性。

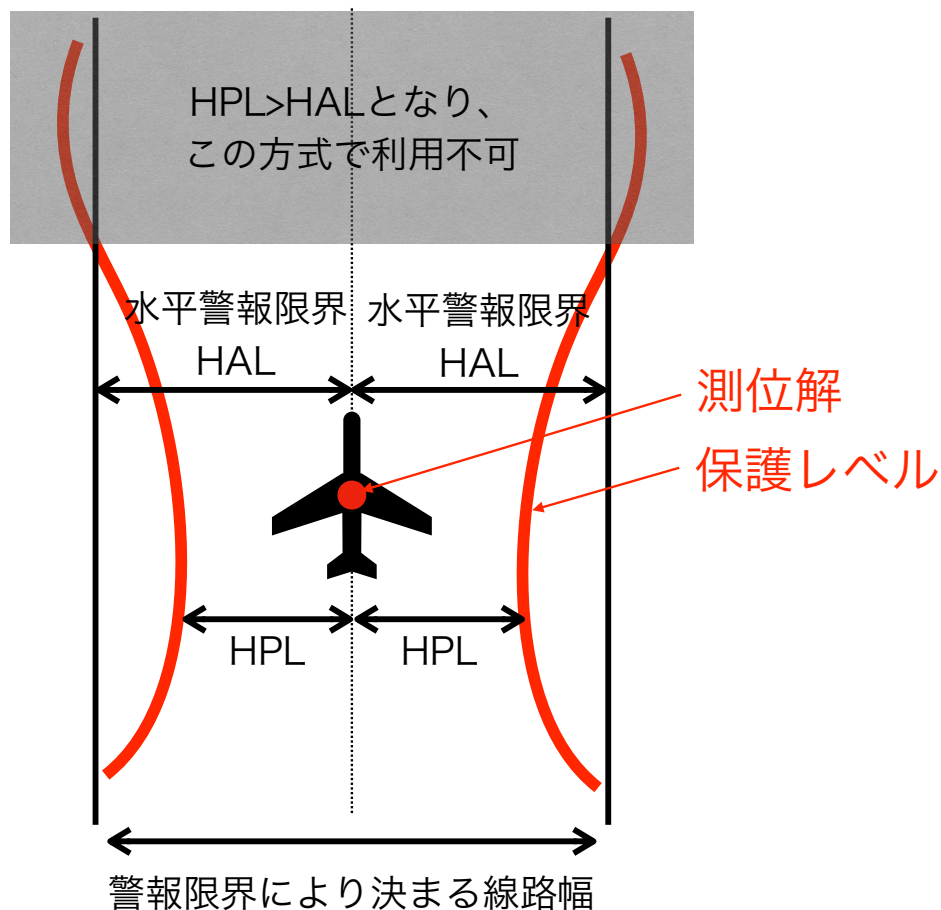
この特徴を北極海で活用したいと考えている。

## 考えられる可能性

- 北極海航路の実証実験
- 電離圏擾乱がGNSSに与える影響の研究



# 保護レベル（とても保守的なエラーバー）



航空航法における信頼性（インテグリティ）とは「誤りがないことを保証し、使用すべきでない場合には迅速に警報を発すること」。

航空航法においてはおよそ $10^{-7}$ の精度が保証されなければならない。つまり、測位解の持つ誤差が保護レベルを10000000回に一回しか超えてはならない。

例えば、1アプローチ2分とすると、

$$120 \times 1000000 = 120000000 \sim 38\text{年}$$

となる。つまり、数十年に一度の稀な自然現象であっても、GNSS信号に影響があるならば調査する必要がある。



# これまでの観測

ノルウェー・オスロでの観測：2021年2月24日～2021年3月17日



オスロにおいて定点観測を行った。この観測によって北欧においてもQZSSを用いた補強システムの利用が可能であることが示されたが、日本と同等の性能で利用するためには、監視局の新規設置が必要であることを示した。

みらいでの観測：2023年8月25日～2023年11月9日



2023年度にみらいに受信機を設置し、オスロで行った実験と同様の観測を北極海の広範囲で行った。データ取得は正常に行えており、現在解析を進めている。



# まとめ

- ・ 次世代の測位方式であるDFMC SBASの北極域での需要が高まることが予想されている。
- ・ 補強メッセージを放送している補強衛星は静止軌道に配置されており、北極域では補強メッセージを受信することができない。
- ・ 日本の準天頂衛星は試験的に補強メッセージを放送しており、この信号は北極域で受信できる。
- ・ 航空航法での利用を想定すると高いインテグリティが必要。このため、数十年に一度の稀な自然現象であっても調査を行う必要がある（長期的な連続的な観測も必要）。
- ・ ノルウェー・オスロとJAMSTEC海洋地球研究船「みらい」にGNSS受信機を設置し観測を行った。
- ・ 2024年度に国立極地研究所のニーオールスン基地に受信機を設置し定常観測を開始する予定である。