

# 一周波の擬似距離単独測位を用いた 電離層モデルに関する研究

劉 秀

# 発表概要

## 1. 研究の背景と目的

## 2. 電離層の補正方法

- KLB、NeQuick、Modified NeQuick、IONEX、2周波

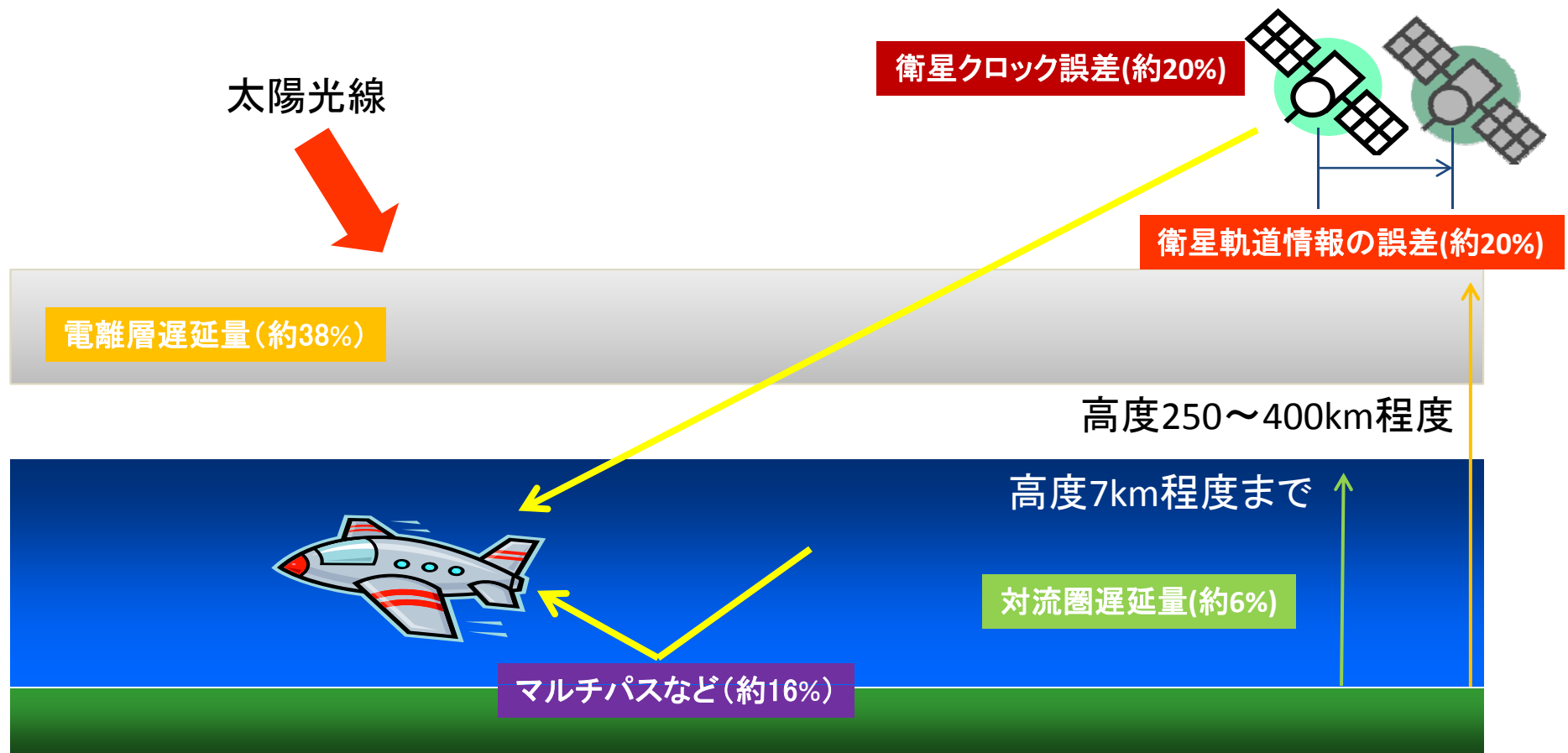
## 3. 実験と結果

- 北海道、東北、東京、九州、沖縄

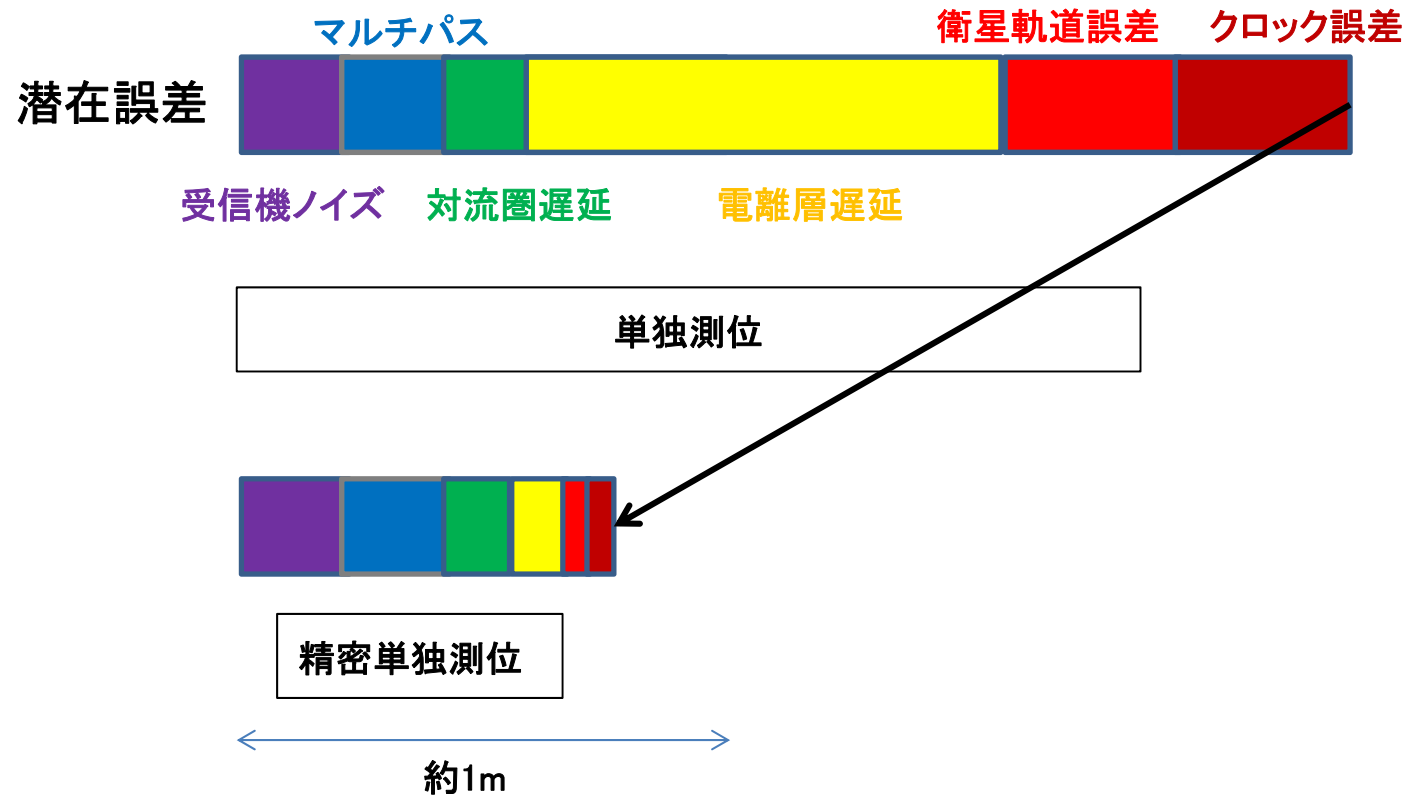
## 4. まとめ、今後の課題

# 研究背景

近年、一般コンシューマ受信機で利用されている単独測位の高精度化が評価されており、IGSによって提供される**精密軌道情報**と**精密衛星時計**、それに、**電離層**と**対流圏**の補正により、擬似距離のみでサブメートル程度の測位精度を得ることができる。

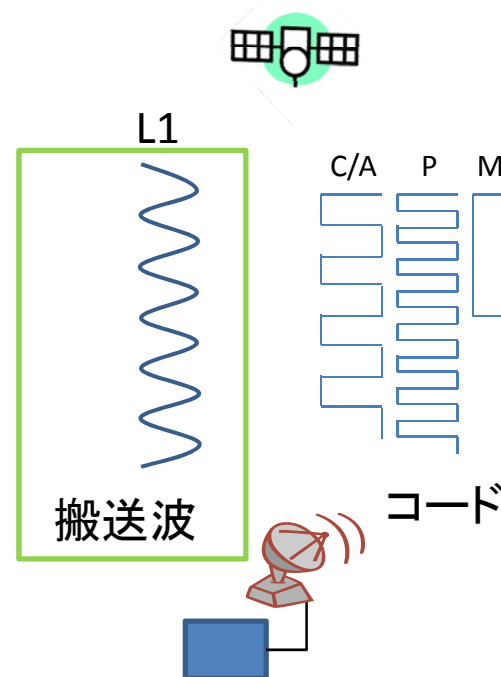
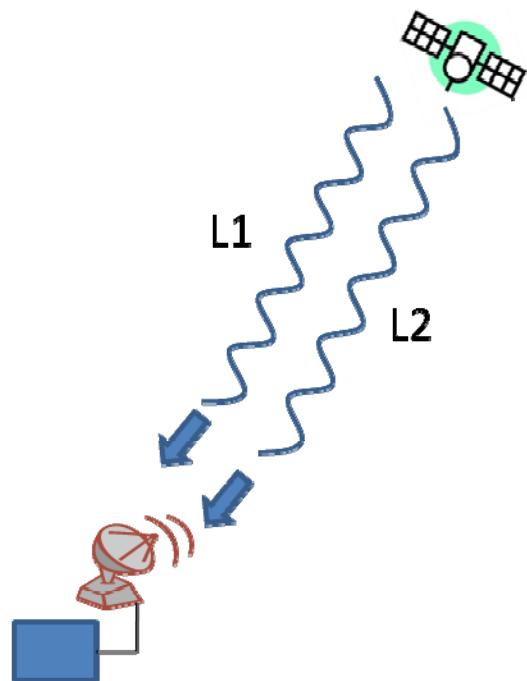


# 予想される測距誤差



- 衛星軌道誤差、クロック誤差：将来、SP3ファイルに変わる低減方法が出てくる可能性が高くなっている。
- 電離層誤差：GPSの測位性能に影響を与える最も大きな誤差になっている。

# 研究目的



- \* 二周波受信機は高価である
- \* まだ研究や測量での利用に留まっている

- \* 搬送波のPPPは10cmの精度である
- \* 搬送波アプリケーションのロバスト性がまだ改善中とTTFFが長い

安価な一周波受信機の擬似距離について、5種類の電離層補正手法を用いて、測位性能の改善を図ることである。

# 5種類の電離層の補正方法

## ✧ Klobucharモデル

50%

- 単独測位でよく利用される方法の一つである
- 入力項目が少ない+ **低** 計算負荷

## ✧ NeQuickモデル

60%

- ガリレオの電離層補正として、最初に利用される
- 入力項目が少ない+ **高** 計算負荷

## ✧ Modified NeQuickモデル

?

- NICTの丸山氏が考案したモデル

## ✧ IONosphere map EXchange (IONEX)

80%

- リアルタイム利用できない(24時間と11日)

## ✧ 2周波

100%

- 2周波測位による電離層遅延量推定は非常に正確である

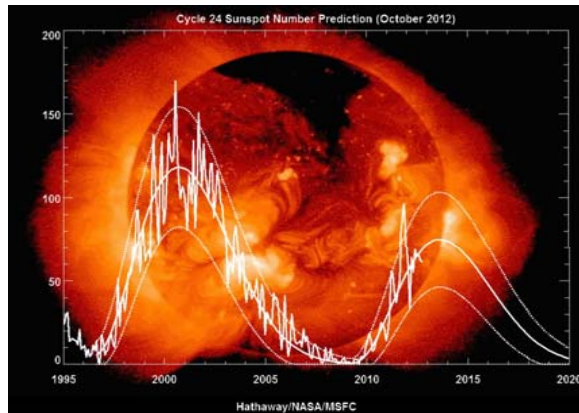
NeQuickモデルの日本での性能を検証する & Modified NeQuickモデルの評価を行う

# 電離層の概要

地上およそ50kmから1,000kmの範囲は電離層と呼ばれている。

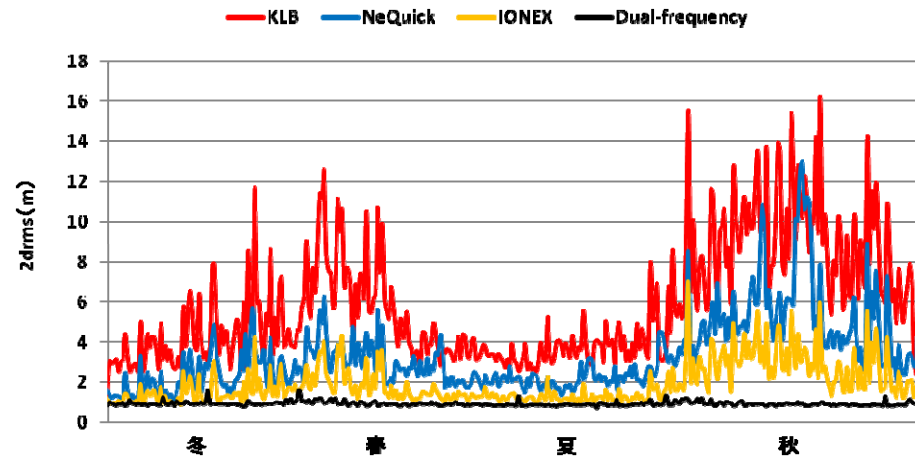
## 総電子数(TEC)の変動要因

### ① 太陽活動周期

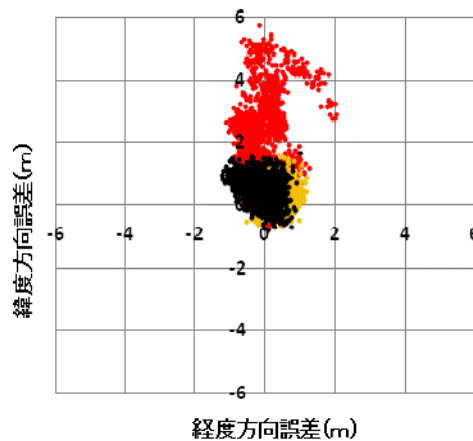


● 沖縄 ● 東京 ● 北海道

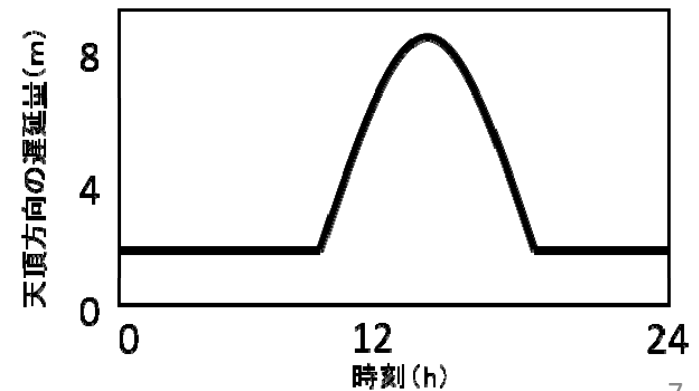
### ② 季節変動



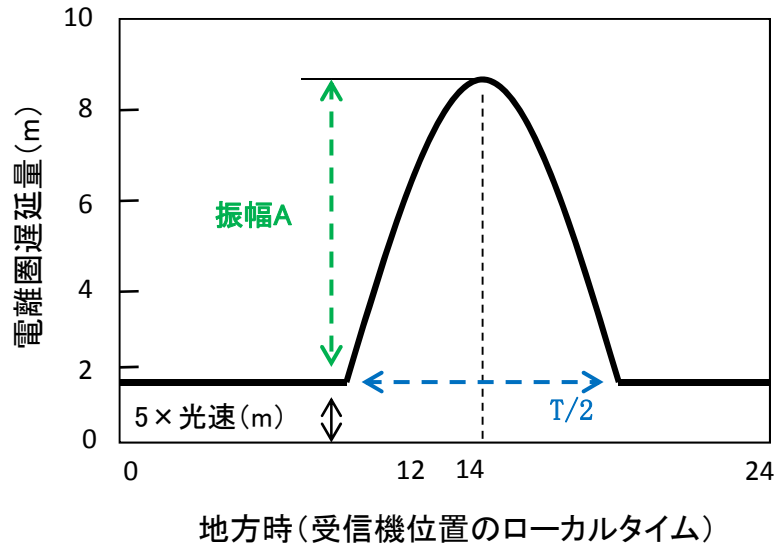
### ③ 地理変動



### ④ 地方時



# Klobucharモデル



$$Ion_{SLANT} = Ion_{VERT} m(elev)$$

$$m(elev) = 1 + 16(0.53 - elev / \pi)^3$$

$$I = \begin{cases} \frac{1}{\cos z} [A_0 + A \cos(\frac{2\pi(t-T_0)}{T})] & T_0 - \frac{T}{4} \leq t \leq T_0 + \frac{T}{4} \\ \frac{1}{\cos z} & \text{上記以外} \end{cases}$$

$$T = \beta_0 + \beta_1 \phi_m + \beta_2 \phi_m^2 + \beta_3 \phi_m^3$$

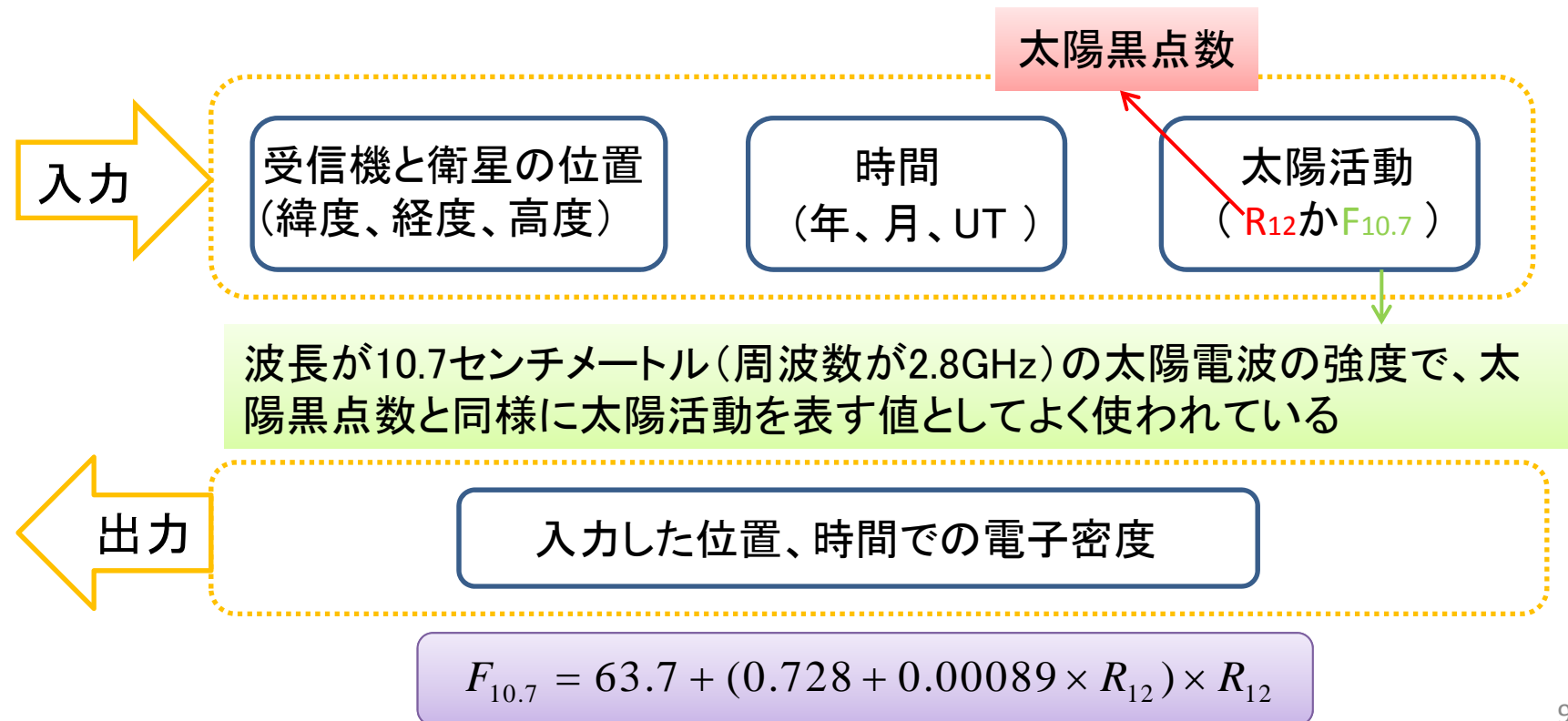
$$A = \alpha_0 + \alpha_1 \phi_m + \alpha_2 \phi_m^2 + \alpha_3 \phi_m^3$$

$\alpha_n, \beta_n \equiv$  航法メッセージに含まれているパラメータ



# NeQuickモデル

- \* NeQuickモデルは、2001年の国際電気通信連合無線通信部会(ITU-R)でTEC計算に適したモデルであると認められた。
- \* NeQuickモデルでは 主に電離層のE層、F1層、F2層三つの部分のTECを計算する。
- \* ITU-RのNeQuickモデルソフトウェアがネットで、公開されている。



# Modified NeQuickモデル

電離圏嵐を含む電離圏変動の実用的な予測モデルである。

NeQuickモデルとModified NeQuickモデルの違い：  
太陽活動の指標(パラメータ)

NeQuickモデル: F10.7のみ

Modified NeQuickモデル:

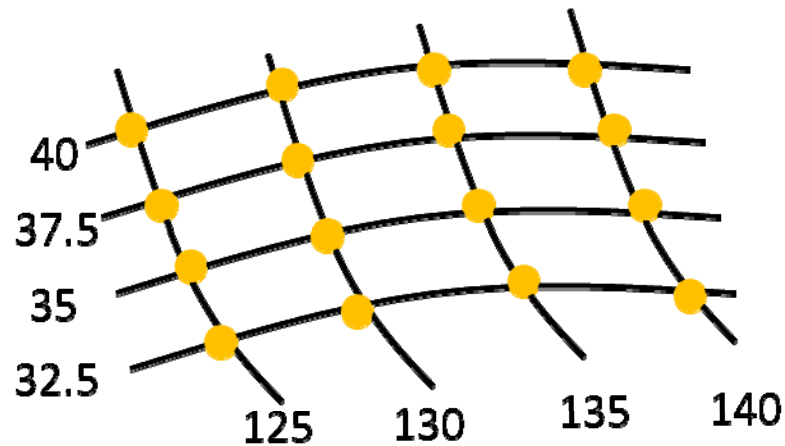
- あらゆる太陽活動指標の短期間と長期間の平均値の組み合わせによって、新しい太陽活動指標を得る。
- 新しい太陽活動の指標は、丸山氏が人工ニューラルネットワーク(ANN)の手法を使って算出した。

# IONosphere map EXchange (IONEX)

CODE(Center for Orbit Determination in Europe) が全地球電離層電子分布図(GIM)を提供



1998年、GIMを格納、配布する国際的な標準としてIONEXフォーマットが提案された。



- ◆ 緯度 $2.5^{\circ}$  × 経度 $5^{\circ}$  のマップ
- ◆ サンプル間隔2時間(1日13枚)

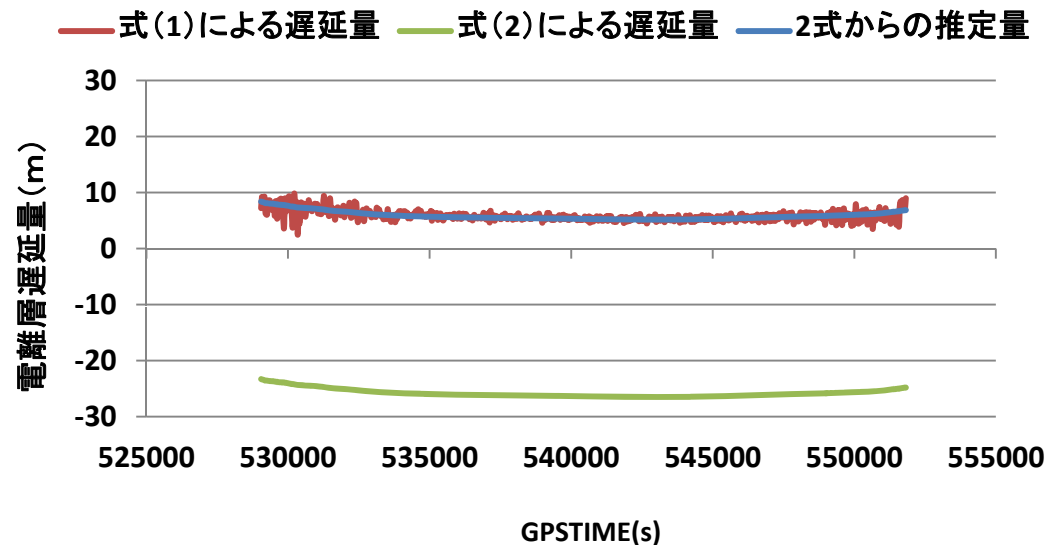
# 2周波による電離層遅延量の推定

擬似距離の電離圏遅延量(m)は、

$$IONO_p = \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} \times (P_{L2} - C_{L1} - P_1 C_1 \times 10^{-9} \times C + P_1 P_2 \times 10^{-9} \times C) \quad (1)$$

搬送波の電離圏遅延量(m)は、

$$IONO_\phi = \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} \times \left( \frac{C_{L1} \times C}{f_{L1}} - \frac{C_{L2} \times C}{f_{L2}} \right) \quad (2)$$

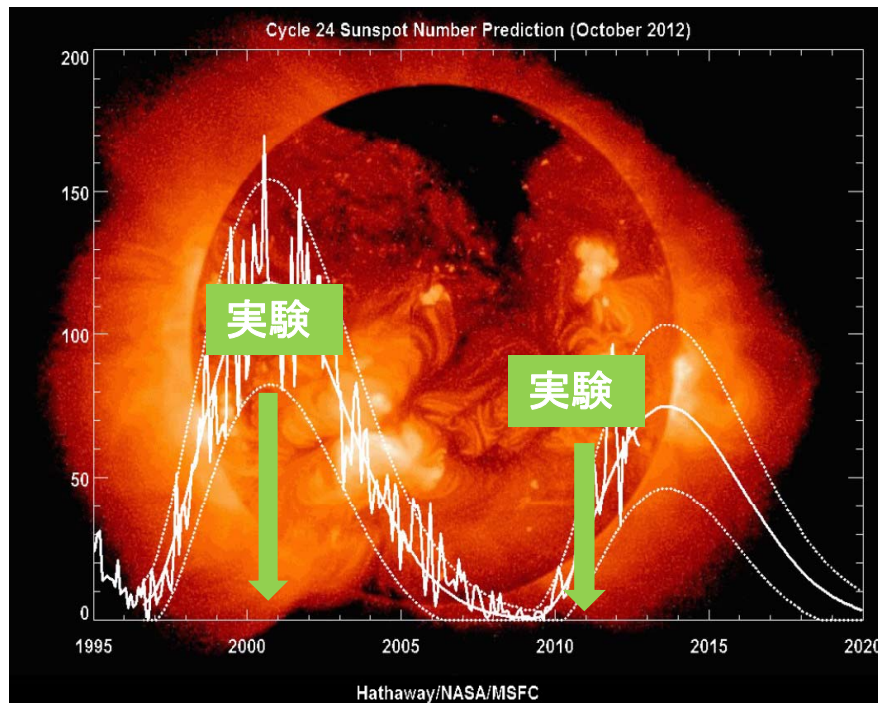


\*P1P2 --L1帯のPコードとL2帯のPコードの違いから生じたバイアス

\*P1C1--P1コードとC/Aコードから生じたハードウェアバイアス

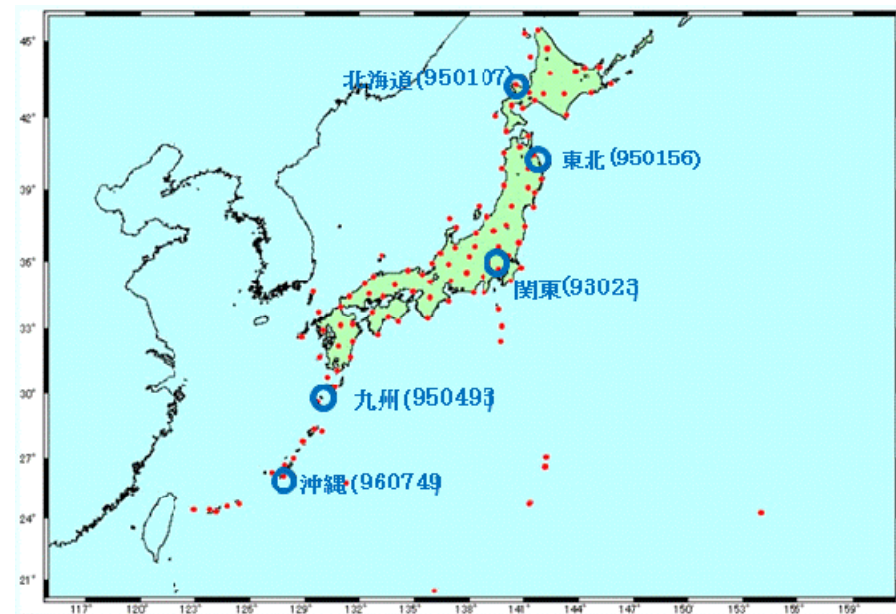
# 実験の概要

## 解析する年次の選択



NASA homepage (science.nasa.gov)

## 解析する基準局の選択



国土地理院の電子基準点データ(30秒間隔)

(2011年1月1日-- 2011年12月31日) + (2000年5月3日-- 2000年12月31日)

# 測位計算方法

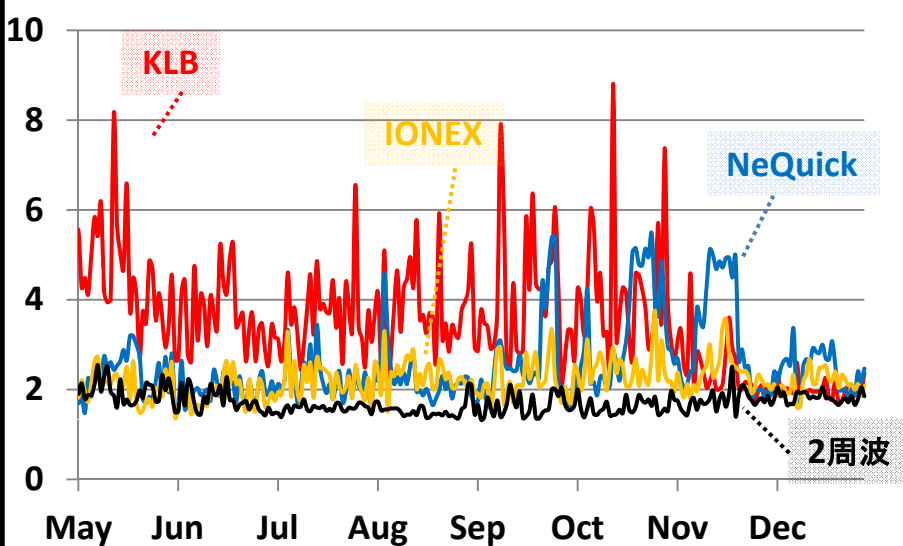
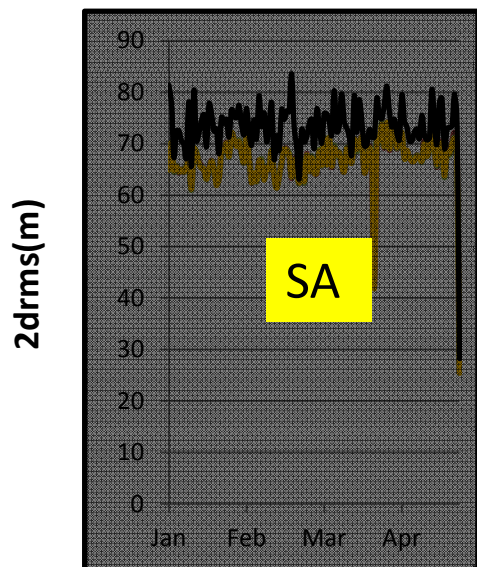
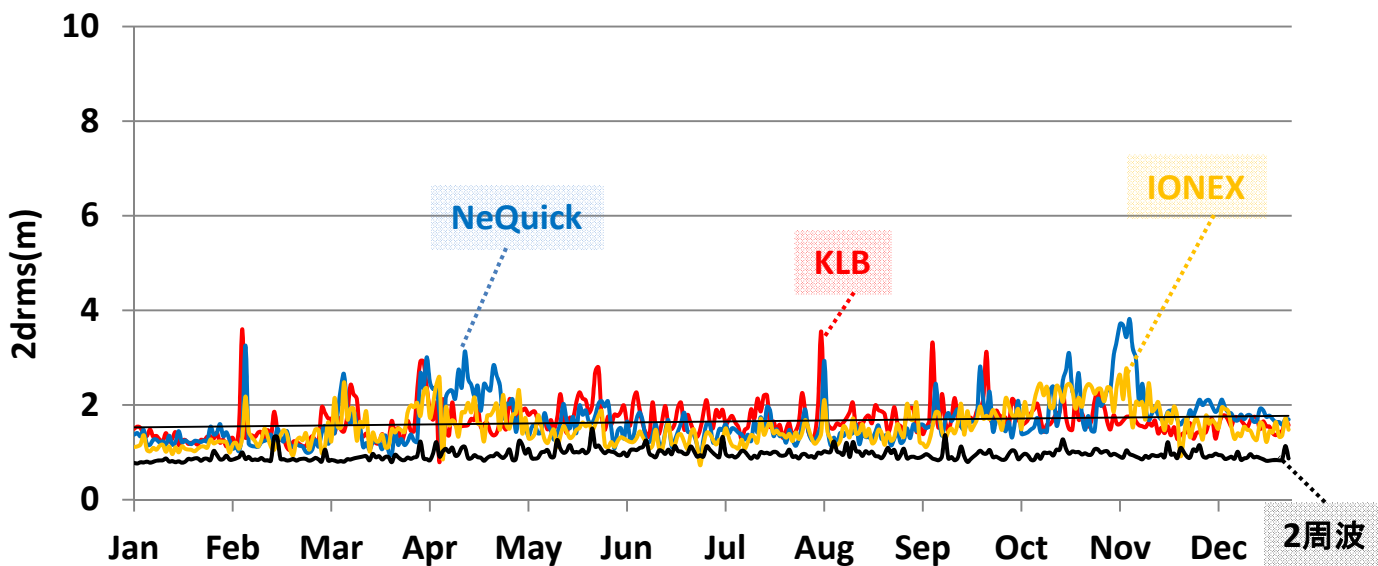
$$P_r^s = \rho_r^s + c\delta t_r - c\delta t^s + I_r^s + T_r^s + \varepsilon$$

①	測位方法	衛星軌道とクロック	電離層	対流圏
Test 1	↑ 一周波の擬似距離 精密単独測位 ↓	↑ Sp3 ファイル (final) ↓	Klobucharモデル	↑ Saastamonienモデル ↓
Test 2			NeQuick モデル	
Test 3			IONEX	
Test 4			2周波	
②			NeQuick モデル	
Test 2a			Modified NeQuick モデル	
Test 2b				

$\rho_r^s$  : 衛星と受信機間の真の距離

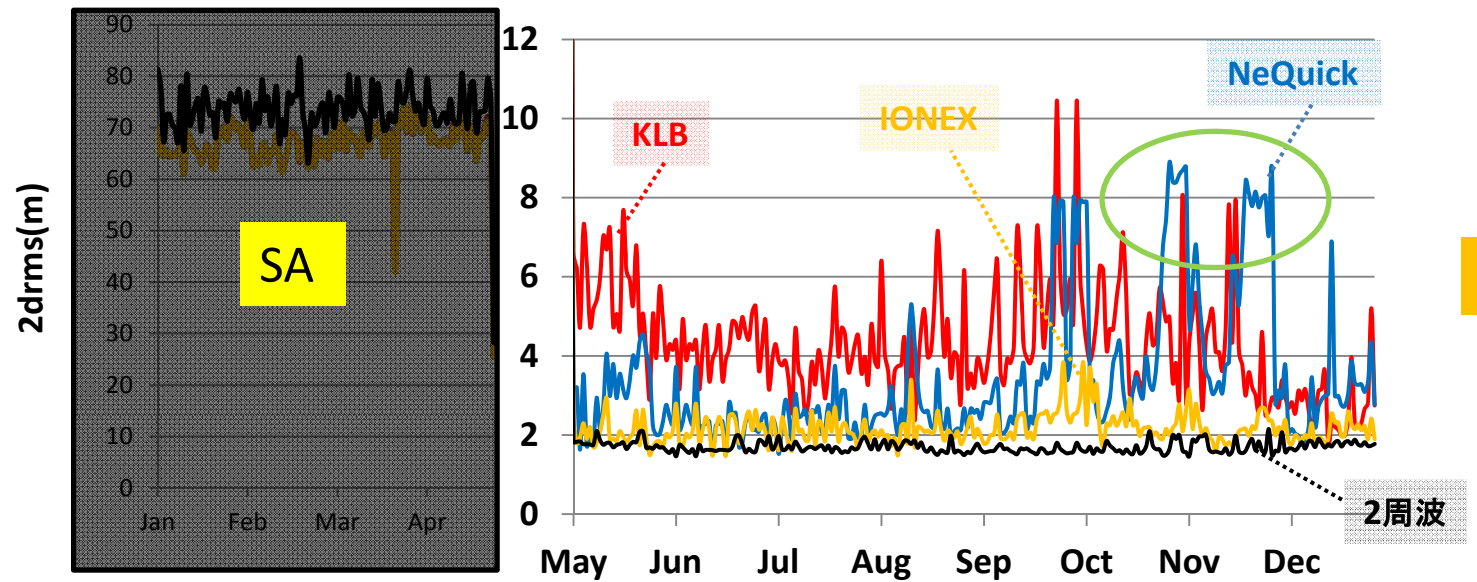
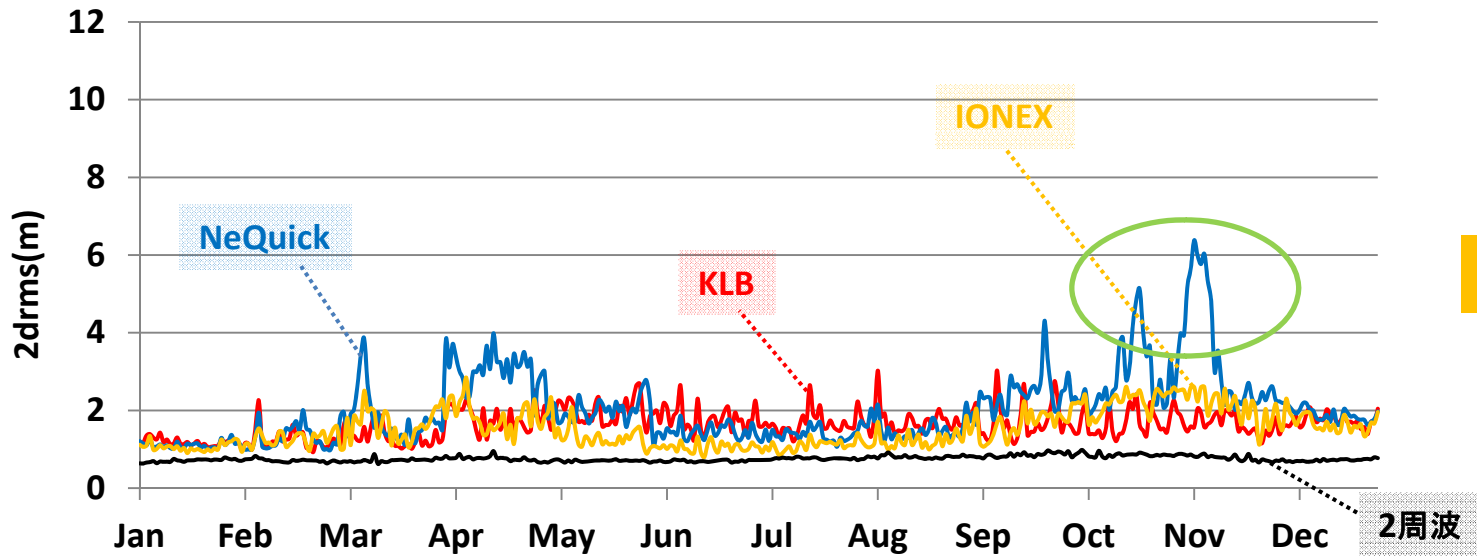
$\varepsilon$  : マルチパス誤差と受信機雑音など

# 測位結果—北海道



- 2周波の利用が、測位精度が最も良いことが分かる。
- 測位精度の良い順番順位はIONEX、NeQuickモデル、Klobucharモデルである。

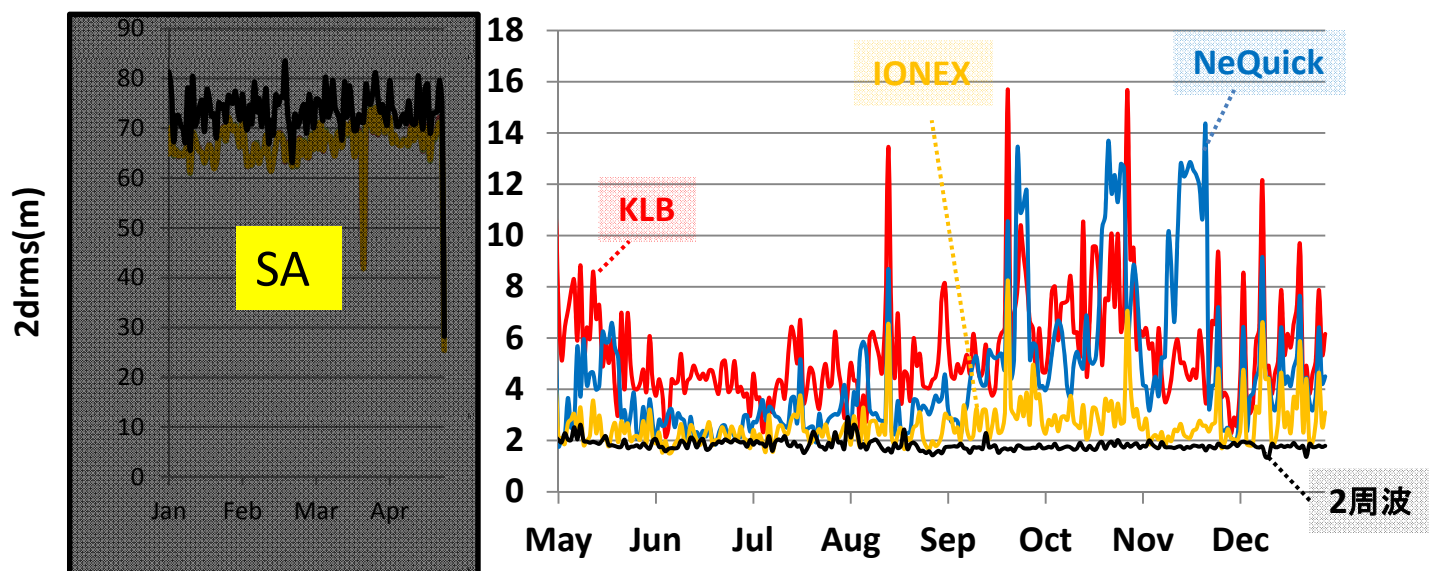
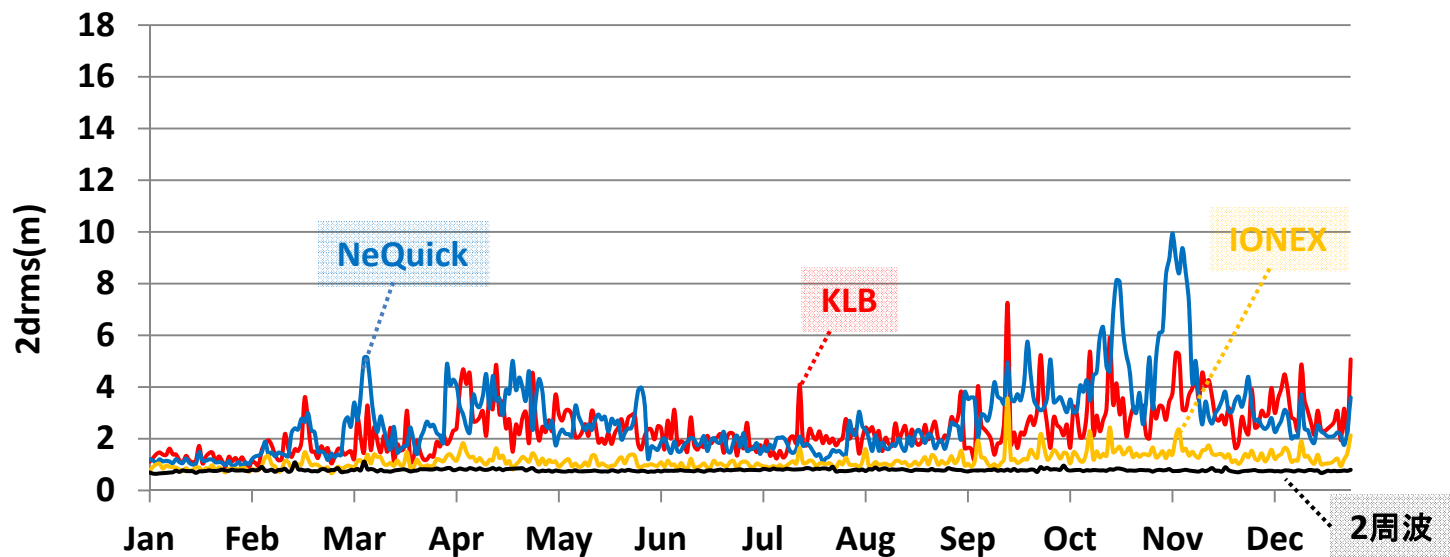
# 測位結果—東北



11月前後、Klobucharモデルより、NeQuickモデルの測位精度の方が悪い、その原因は電離層の突発的な変動の影響を受けたことが考えられる。

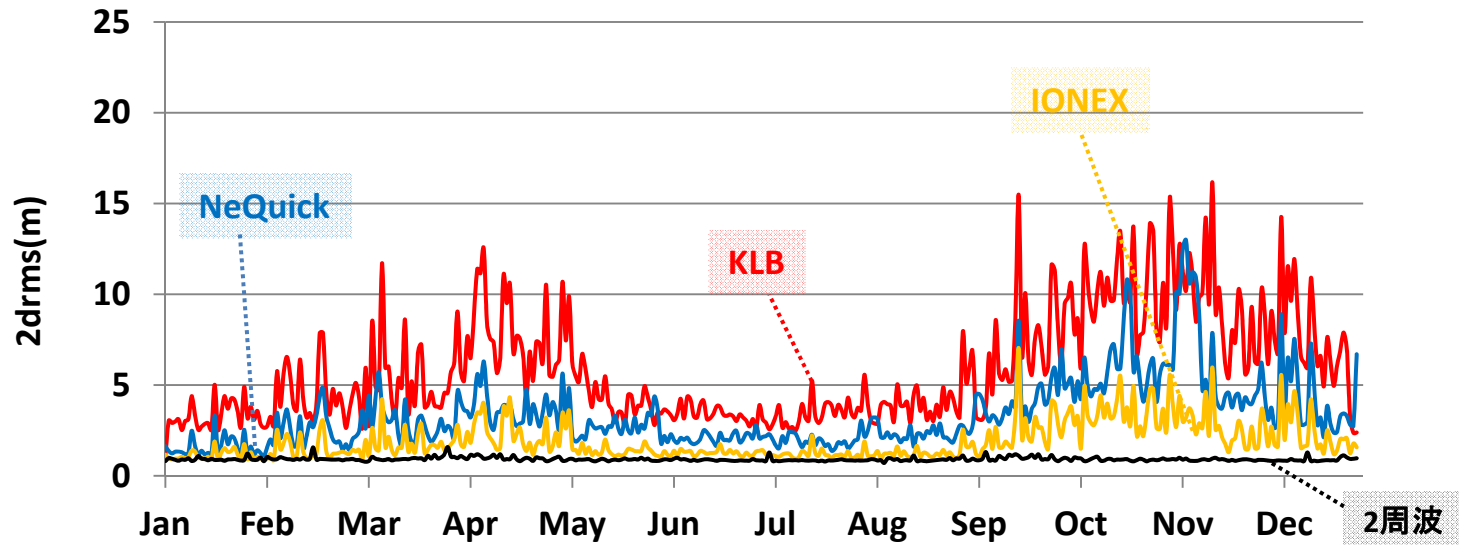


# 測位結果—東京

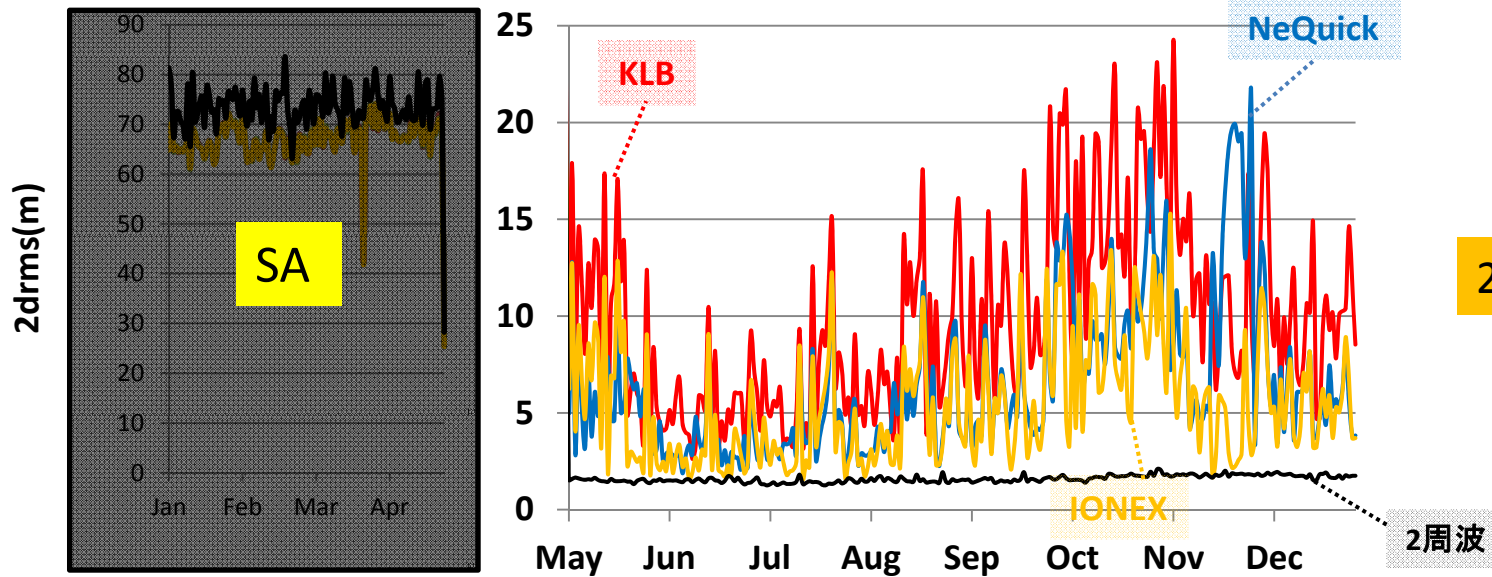


赤道付近の電離層が活発である。

# 測位結果―九州



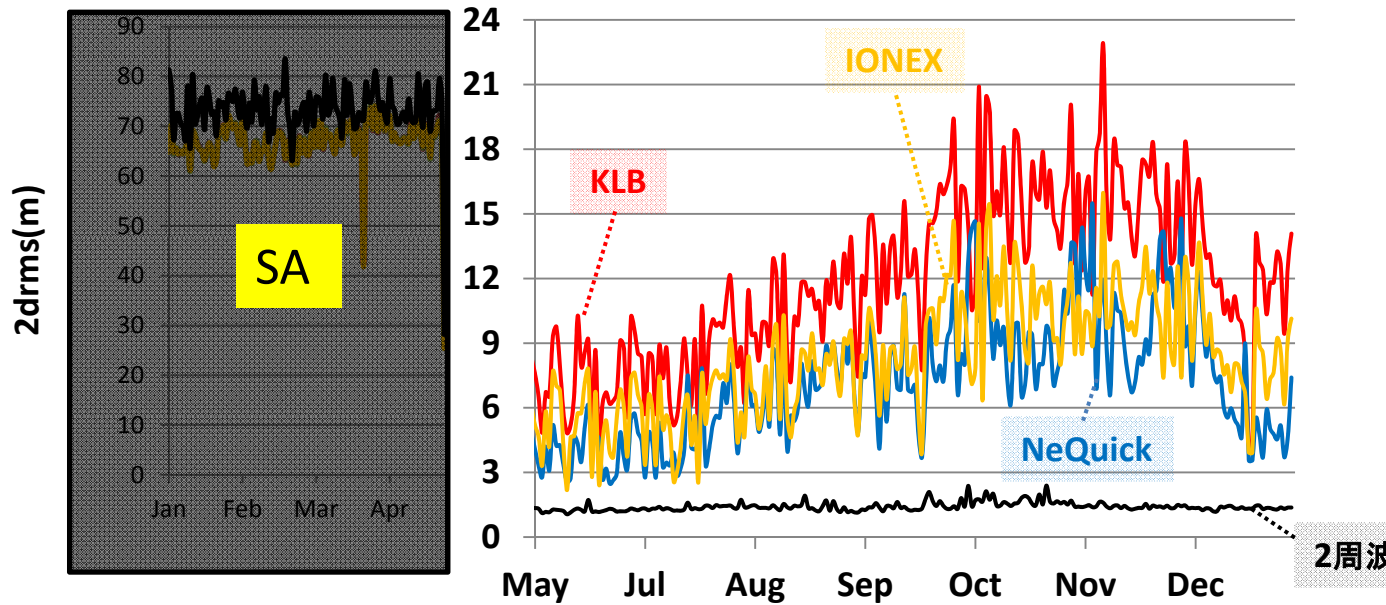
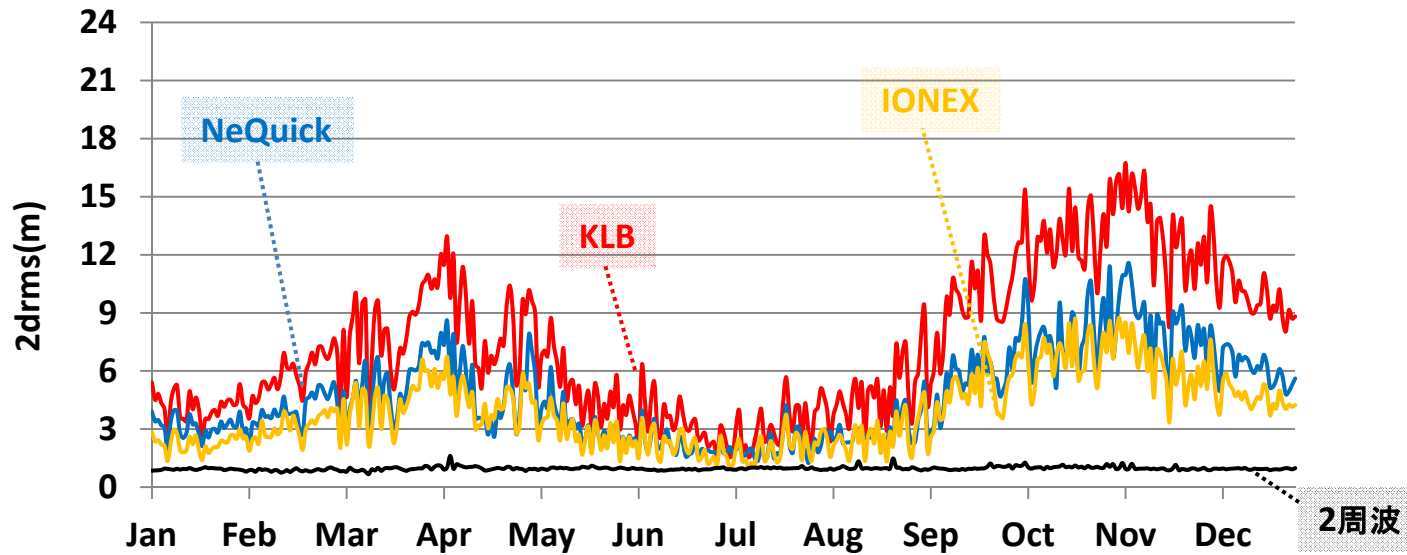
2011年



2000年

季節の変動により、春と秋の時期に、測位精度が下がり、逆に、夏と冬の時期に、測位精度が上がる。

# 測位結果—沖繩

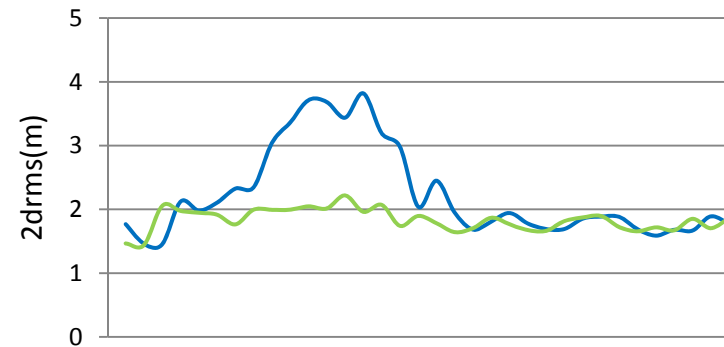
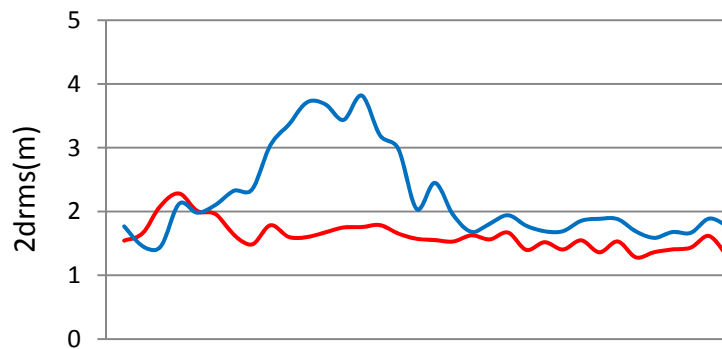
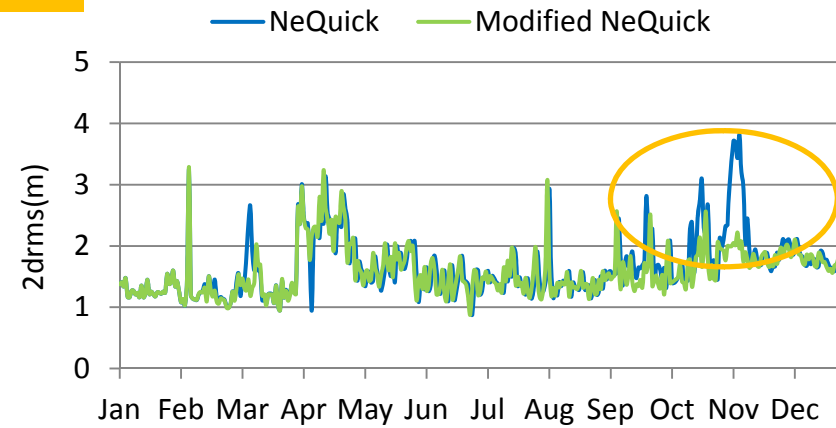
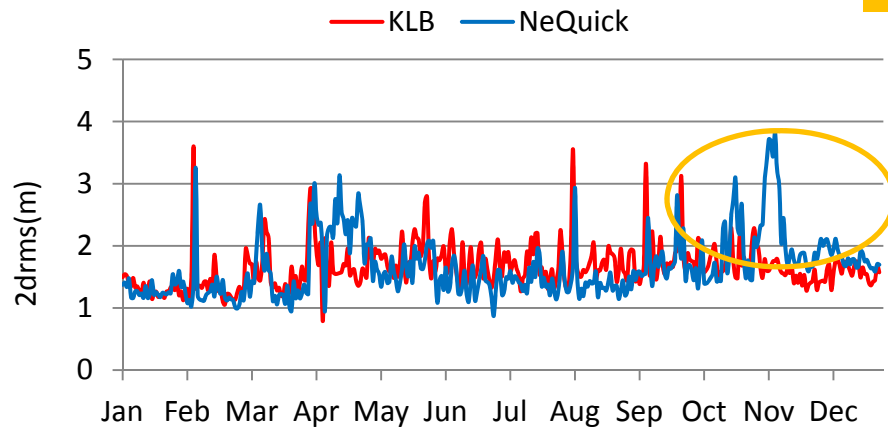


2011年より、2000年全地域の測位精度が悪くなっていることもわかった。

# NeQuickモデルとModified NeQuickモデルの比較

## —北海道の水平誤差を例として(2011年)

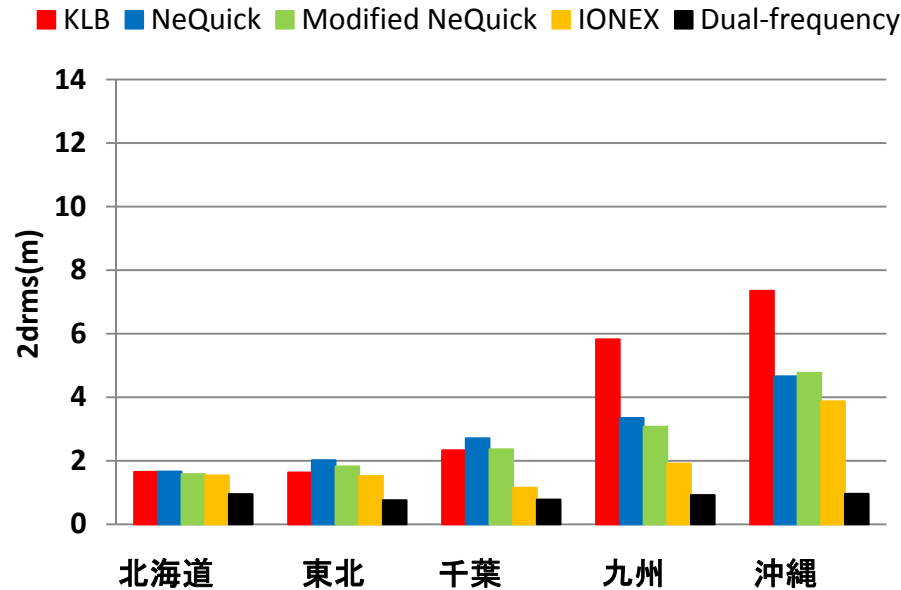
北海道



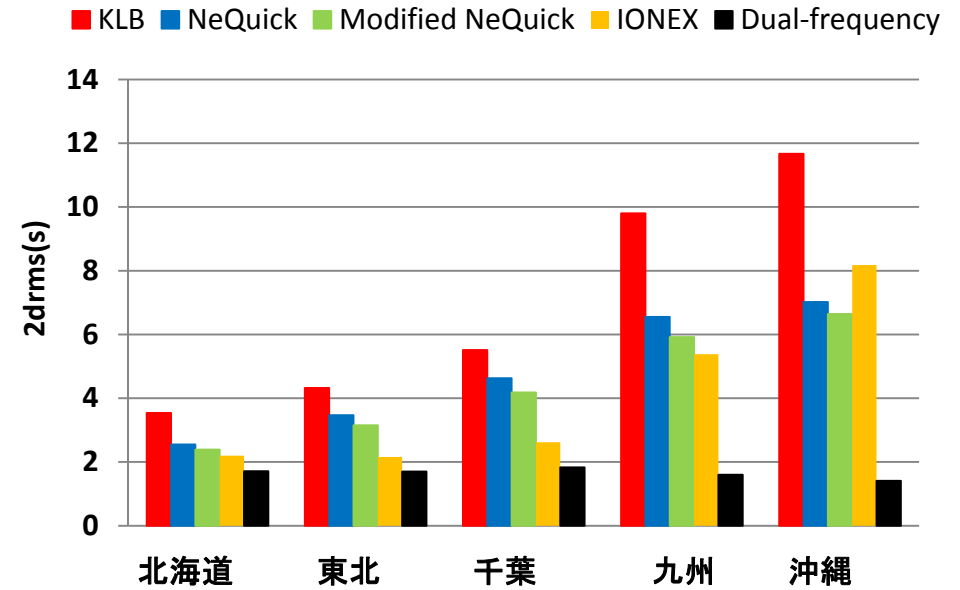
将来、日本ではNeQuickモデルより、電離層変動を予測できるModified NeQuick モデルを利用した方が良いことがわかる。

# 測位結果

2011年



2000年



- 5種類の電離層モデルの補正手法で、測位精度の良い順番は、二周波、IONEX、Modified NeQuickモデル、NeQuickモデル、Klobucharモデルであることを確認することができた。
- 電離層活発時はつねにKlobucharモデル < NeQuickモデルであった。

\* 平均値は365(243)日のデータを足し合わせ、365(243)で割った値である。

# まとめ、今後の課題

- 5種類の電離層補正手法の効果比較

日本の北海道、東北、東京、九州、沖縄の5か所で、太陽活度低下時と活発時双方において、5つの方法の測位性能改善順位は  
二周波 > IONEX > Modified NeQuickモデル > NeQuickモデル > Klobucharモデル  
になっていることがわかった。

- NeQuickモデルの日本での性能検証

NeQuickモデルを将来的に欧州だけではなく、ほかの地域でも利用できることが考えられる。現在多く利用されているKlobucharモデルよりは測位精度が良いので、今後、1周波用受信機で利用される可能性がある。

- 本研究の実験結果に見られた、NeQuickモデルの10月中旬から11月中旬までの不安定性について、原因の追究を行っていきたい。

ご清聴ありがとうございました。

- 謝辞

- 本稿のNeQuickモデルとModified NeQuickモデルの貴重なデータを提供して頂いた電子研究所殿と情報通信研究機構殿に深く感謝します。