

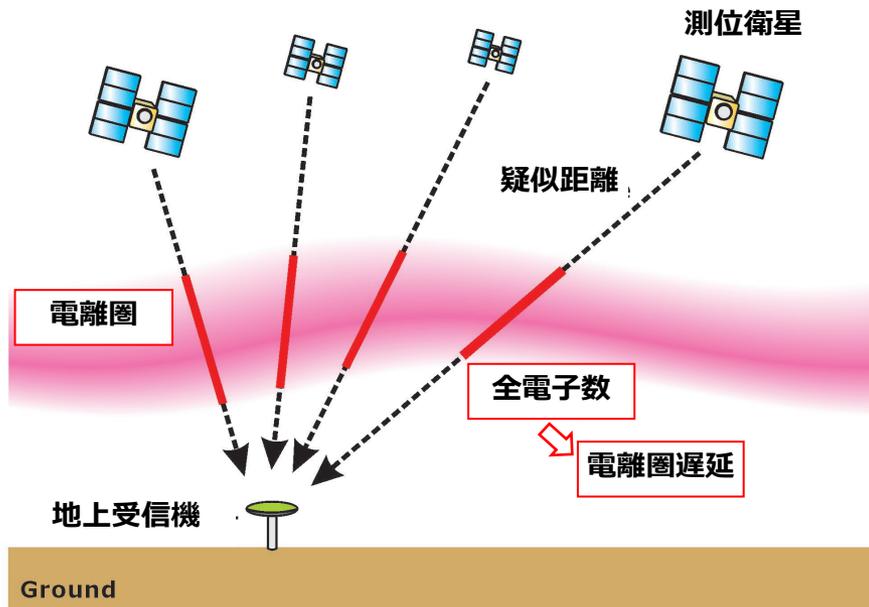
# 宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会 警報基準WG測位

- ①宇宙天気はどのように測位に影響を与えるか？
- ②警報基準WG測位分野での検討概要
- ③警報基準策定の試み

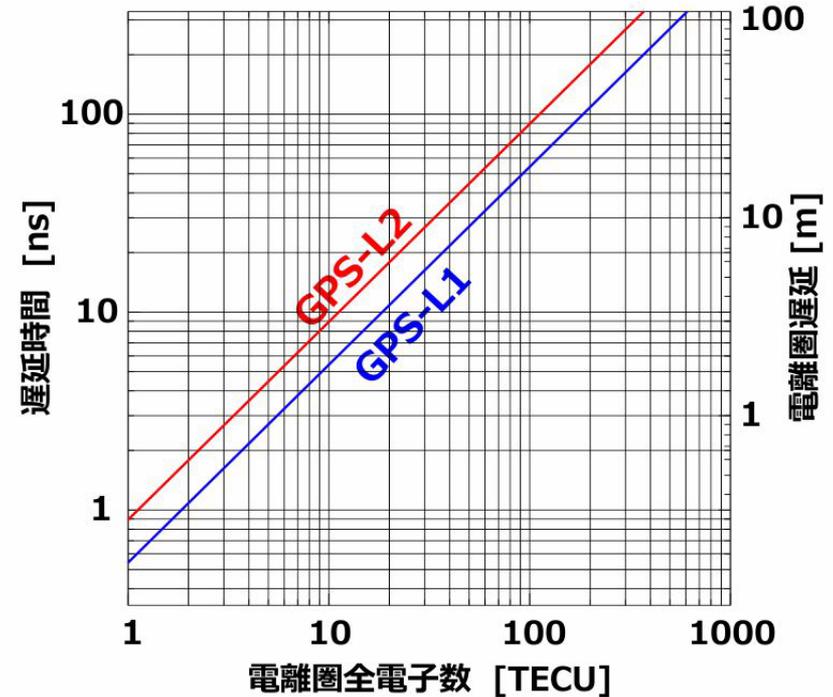
情報通信研究機構 電磁波研究所  
電磁波伝搬研究センター 宇宙環境研究室  
西岡未知 (nishioka@nict.go.jp)

# ①宇宙天気はどのように測位に影響を与えるか？

## 一周波単独測位誤差：電離圏遅延が原因



全電子数と遅延量・時間の対応

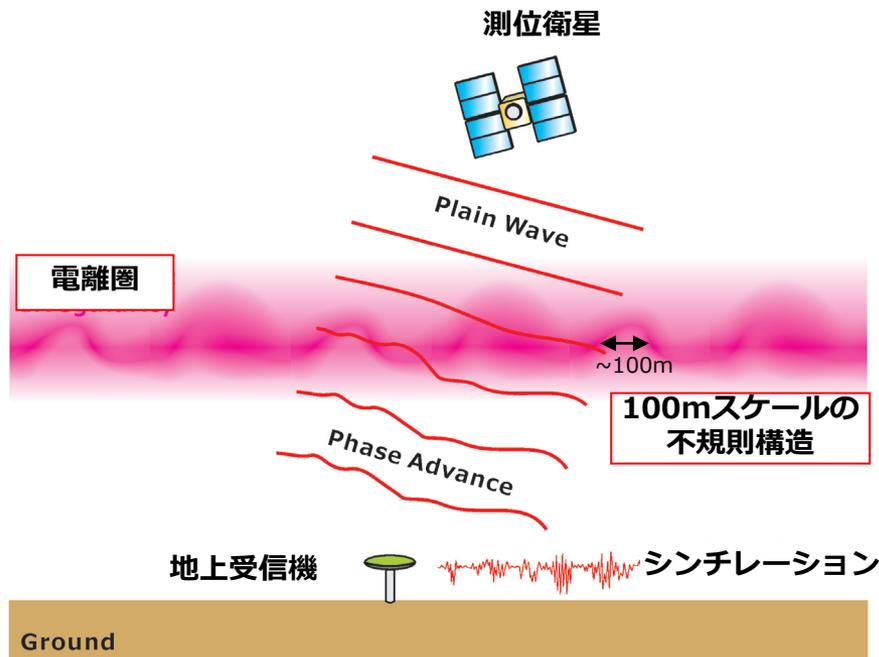
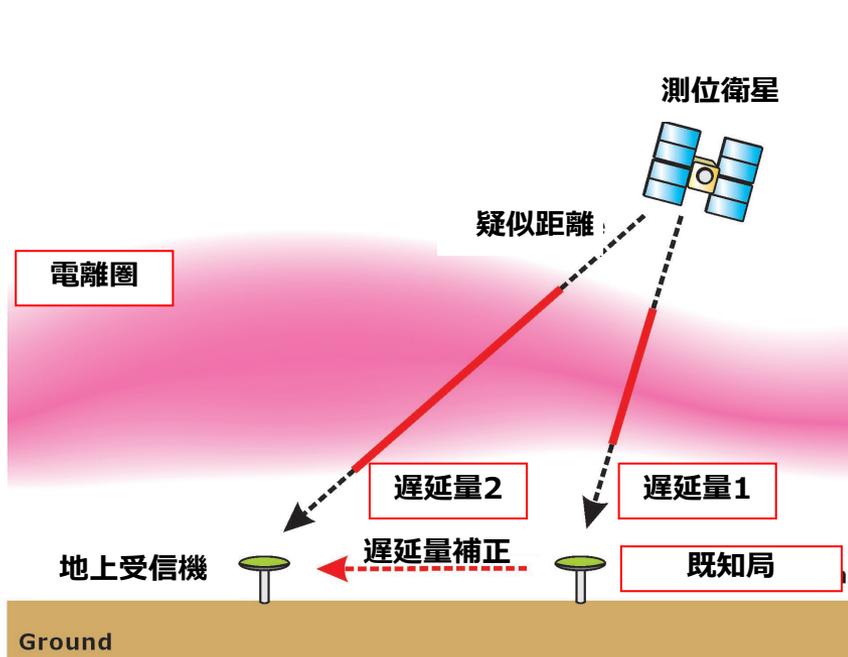


<https://swc.nict.go.jp/knowledge/guide.html#gps>

- 1周波GNSS測位で利用される疑似距離には電離圏遅延量が含まれる。
- L1の場合、昼間に数mから十数m、夜間には数m程、遅延する。
- 1周波GNSS測位において、電離圏遅延は最大誤差要因の一つ。

# ① 宇宙天気はどのように測位に影響を与えるか？

## 相対測位とシンチレーション：電離圏の空間勾配が原因



- 電離圏の電子密度構造に急峻な空間勾配がある場合、相対測位にも誤差が生じる可能性がある。
- 電離圏の電子密度に数100mスケールの強い不規則構造がある場合、GNSSシンチレーションが発生し、GNSS信号のロック損失に繋がる場合がある。

## ②警報基準WG測位分野での検討概要

### WG測位分野メンバー（五十音順、敬称略、所属は当時のもの）

今給黎哲郎、前田 剛、岸本 統久（内閣準天頂衛星システム戦略室）

岩本貴司、佐藤一敏（三菱電機株式会社）

金田知剛（日本電気株式会社）

斎藤 享（電子航法研究所）、津川卓也、西岡未知（情報通信研究機構）

### 検討概要

- 測位手法（1周波/2周波？位相情報利用有/無？単独/複数受信機？）は複数存在し、ユーザーによってその使用方法や目的が様々。それぞれのユーザーがどのような水準を求めているのかを知る必要有り。
- 「宇宙天気が測位の精度等に与える影響の調査に関するアンケート」を実施。主に測位サービスを提供する19事業者から回答を得た。

「宇宙天気が測位の精度等に与える影響の調査に関するアンケート」概要

Q1. 提供サービス名

Q2. エンドユーザーの業種

Q3. 測位手法

Q4. 性能水準（精度要件・安全性・継続性・アベイラビリティなど）

Q5. 宇宙天気や電離層の影響について考慮されているか、その具体例

Q6. 宇宙天気に関するアラートが出るとした場合に、望まれる情報

# ②警報基準WG測位分野での検討概要 アンケート結果と予警報必要性の議論

予警報として必要
  参考情報として必要
  不要
  不明・要調査

測位手法		宇宙天気の影響			測位サービス (延べ回答数)	求められる性能水準 (一部抜粋)
		遅延量	遅延空間勾配	シフト		
一周波	単独	✓	✓	✓	QZSS-PNT(1)	・精度 ≤ 2.6 m、電離層パラメータ精度 ≤ 7.0 m (共に95%値)等 (※サービスの要求水準)
					単独測位(7)	・車両位置精度：数m (道路幅程度)
					ABAS (1)	・水平方向0.47-3.7km等
	相対		✓	✓	SLAS(1)	精度 (Zone 1) : 水平1.00m以下(95%値)等 (※サービスの要求水準)
				SBAS(3), MSAS(1), GBAS(2)	MSASの例：非精密進入、垂直 基準なし、水平 220m、インテグリティ：1-10 <sup>-7</sup> per hour GBASの例：カテゴリ-I精密進入、垂直6.0-4.0m、水平16m、インテグリティ：1-2 × 10 <sup>-7</sup> in any approach 等	
				DGNSS(6)	・水平：0.4m / 垂直：0.6m 車両の測位精度：サブメータ級等	
一周波 (精密)	相対 (位相)		✓	✓	(一部のRTKユーザー)	
	単独 (PPP)		✓	✓	PPP(1)	
二周波	単独			✓	QZSS-PNT(1)	要求水準としては1周波単独PNTに同じ
	相対			✓	二周波SBAS(将来的に)	
二周波 (精密)	相対 (位相)		✓	✓	RTK(13), VSR-RTK(2), スタティック(4), CLARCS(1)	公共測量作業規定に準じた精度、水平2cm、上下方向3 cm
	単独 (PPP)		✓	✓	CLAS(5), PPP(2)	静止体で水平6cm以下、垂直12cm以下、移動体で水平12cm以下、垂直24cm以下 (いずれも信頼水準95%値) 等 (業務要求水準書)

## ②警報基準WG測位分野での検討概要

# 二周波精密相対測位（RTK測位）における予警報検討



影響が無視できる範囲



影響の可能性があり  
適切な対応を要する範囲



深刻な影響の可能あり  
運用の継続が困難になる範囲

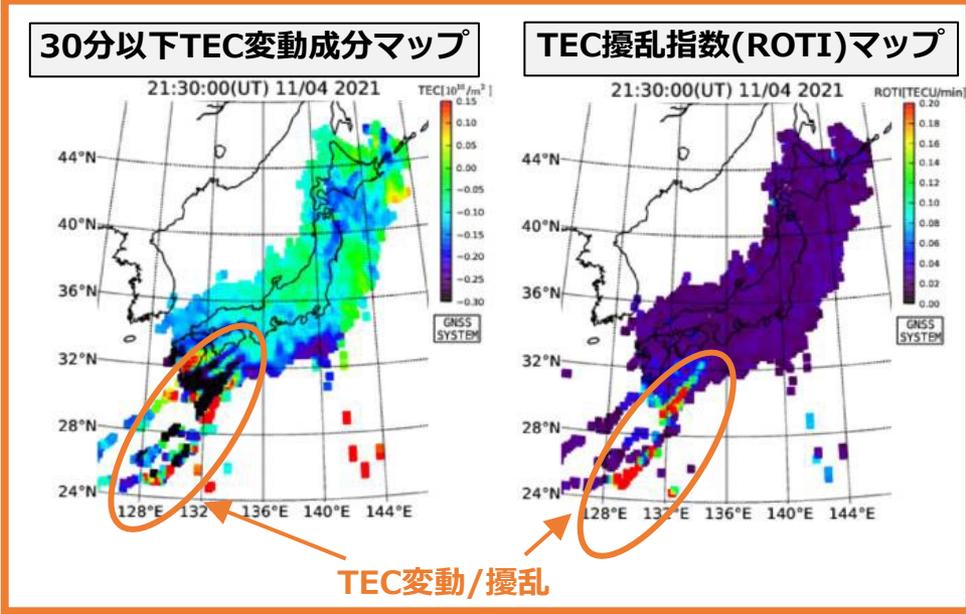
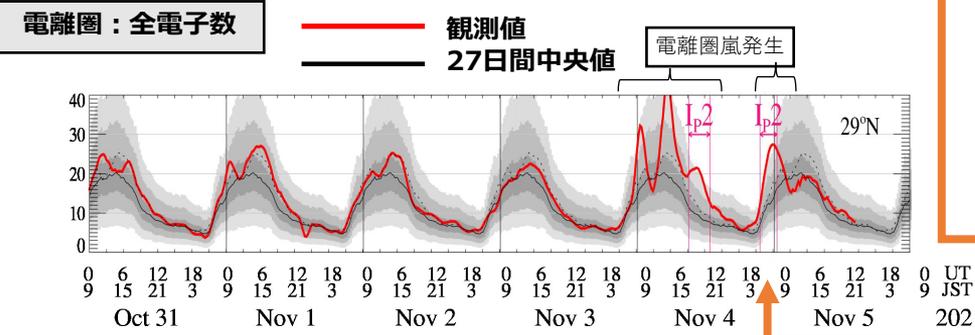
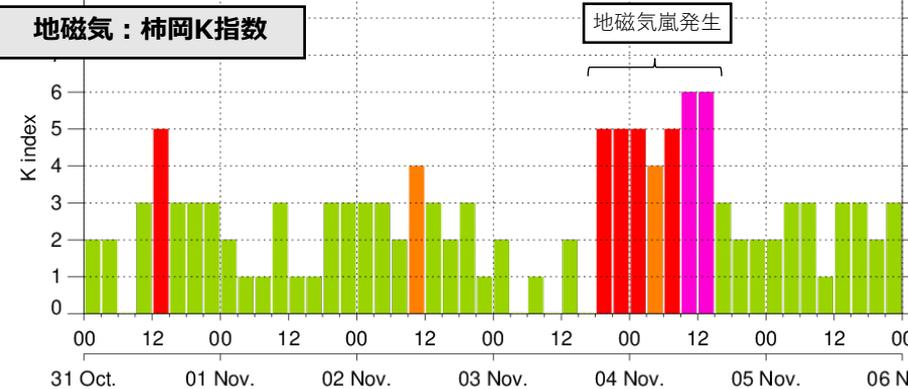
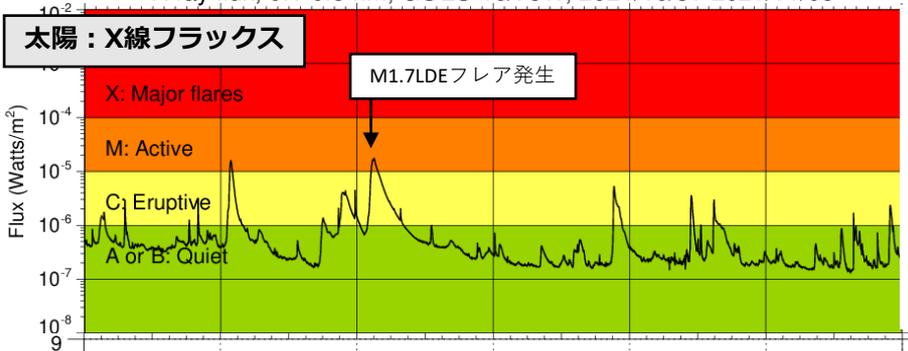
\*今後の研究により変わりうるもの ■システムに依存するもの △障害というより「通常と異なる」もの

分野	影響と被害	障害を起こし得る 宇宙天気現象・物理量	社会的影響発生頻度と影響		
			Lv 1	Lv 2	Lv 3
測位（二周波精密相対）	測位不可あるいは精度低下	電離圏遅延空間勾配・シフト（TID・プラスマバブルなど）			
社会的影響			FIX解が得られ、基準（水平2センチ、上下方向3センチ以内の誤差範囲）を満たす	精度の低下 水平2cm鉛直3cmの測位精度が出ない	測位不可能 測位解（FIX解）が得られない
計測・予測可能な物理量			電離圏遅延の空間勾配（水平方向10kmの基線におけるTEC値の差分）シフト（Rate of TEC change Indexをシフト指数の代替指標とする）		
国外基準との関連性（米国、英国等）			ICAOのGNSS基準（TEC125/175TECU以上、S4指数0.5/0.8以上でmoderate/severe）は、ユーザー側の要件から導かれた根拠ではなく、改めて検討する必要があると考える。 電離圏遅延の空間勾配については基準なし。		
予報・警報の必要なタイミング（現況、1時間前、2-3日前、数日前等）			警報（ナウキャスト）に加え、数日先/1日先/半日先の予報があると好ましい。		
予報・警報実現性、閾値情報更新への課題			<p><b>予警報実現性：</b>現在のTEC観測より基線10kmあたりの遅延量空間勾配を基に予警報を出すことで実現可能。シフトに関してROTI指数を基に予警報を出すことで実現可能。</p> <p><b>閾値決定のための課題：</b>電離圏遅延の空間勾配と、測位手法各システムに生じる測位誤差およびFIX失敗の関係について明らかにする必要がある。シフトの目安となるROTI指数についても同様に各システムに生じ得る測位誤差およびFIX失敗の関係について明らかにする必要がある。</p> <p>現時点で利用可能な測位データと特定のアルゴリズムを用いた解析を実施し、今年度内に暫定値を導出することを目標とする。多種の解析アルゴリズムに対する比較・考察、統計的に不足するデータの補間の手法開発を行い、一般化できる結果を得るためには、数年の研究が必要と推測される。</p>		
その他			・地方ごとの予警報発出が望まれる。		

### ③ 警報基準策定の試み

## 2021年10月末の宇宙天気現象とRTK測位への影響

- 2021年11/1-2に発生したフレア・CMEに伴い、3-4日に地磁気嵐と電離圏擾乱が発生。この時期のRTK測位精度について調査した。



11/4 21:30UT



# まとめ

## ①宇宙天気はどのように測位に影響を与えるか？

→電離圏遅延量とその空間変化、シンチレーションが測位精度に影響を与える。

## ②警報基準WG測位分野での検討概要

→手法や目的が多岐に渡る測位ユーザーの中でも、特に、二周波利用の相対測位であるRTK測位分野に予警報が必要。

- ・Lv1:FIX解が得られ、基準（水平/鉛直 2/3cm以内）の範囲内。
- ・Lv2:FIX解が得られるが、誤差が基準の範囲外。
- ・Lv3:FIX解が得られない場合。

## ③警報基準策定の試み

→具体的な宇宙天気の閾値策定を行うべく、2021年10月末の宇宙天気現象についてRTK測位精度について調査。全電子数や擾乱指数のに伴い、FIX率の低下が認められた。更なる統計的な調査に基づき、予警報閾値の設定を行う。

質問等ございましたら、西岡（nishioka@nict.go.jp）までお寄せください。