

第20回宇宙天気ユーザーズフォーラム

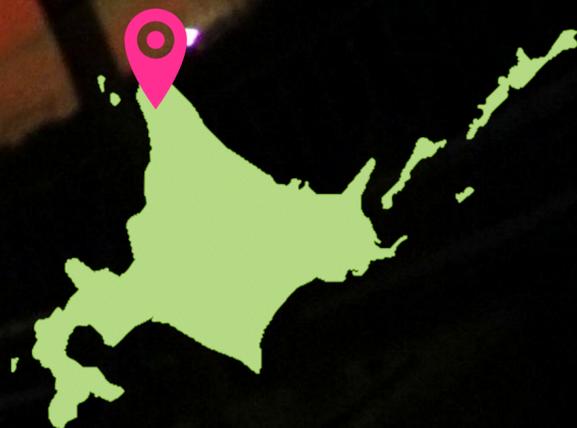
宇宙天気ミニ講座 (オーロラ・電力編)

国立研究開発法人情報通信研究機構 宇宙環境研究室

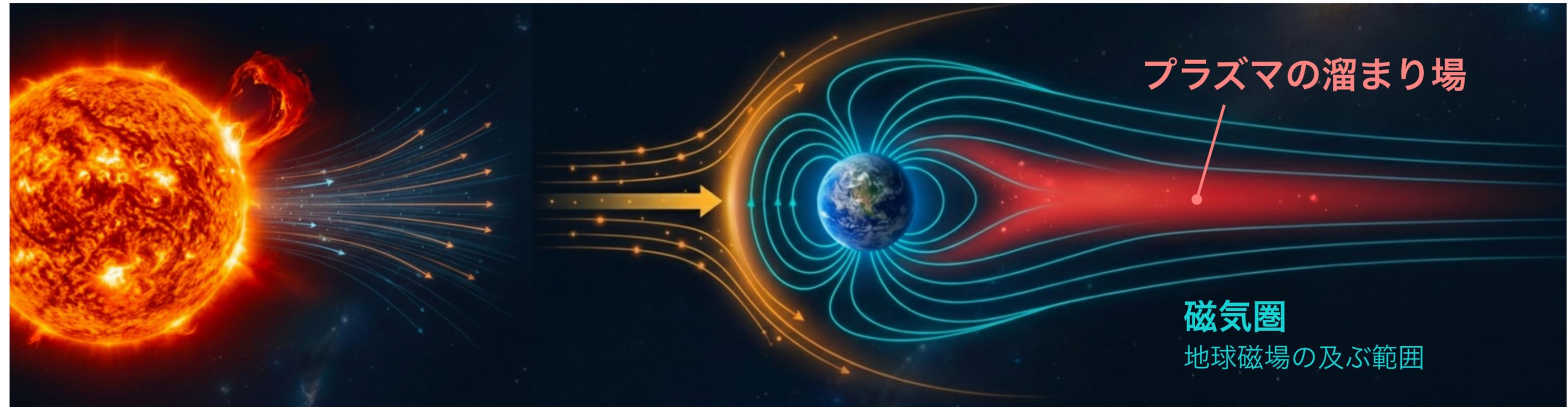
高橋 直子

低緯度オーロラ

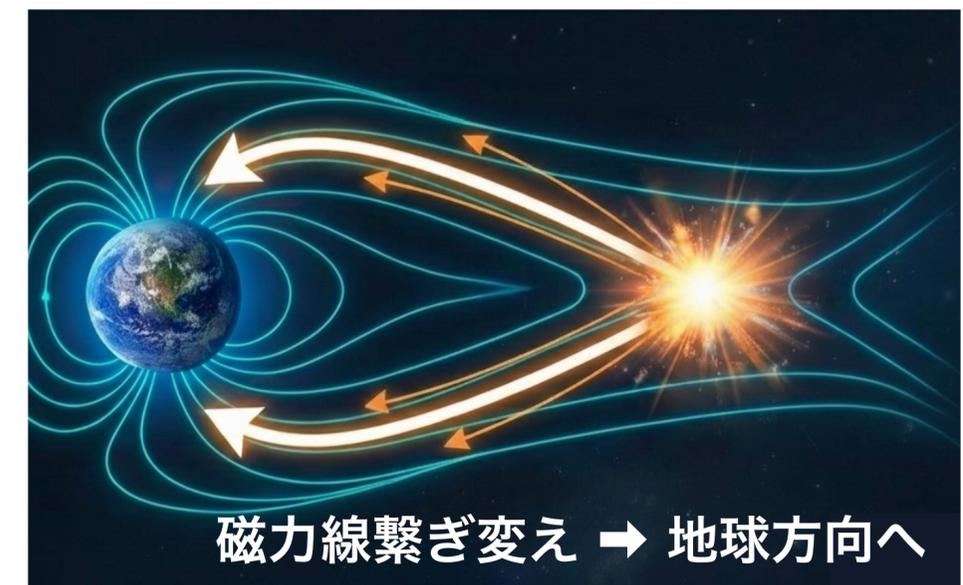
2025/11/12 19:35JST、@NICTサロベツ電波観測施設



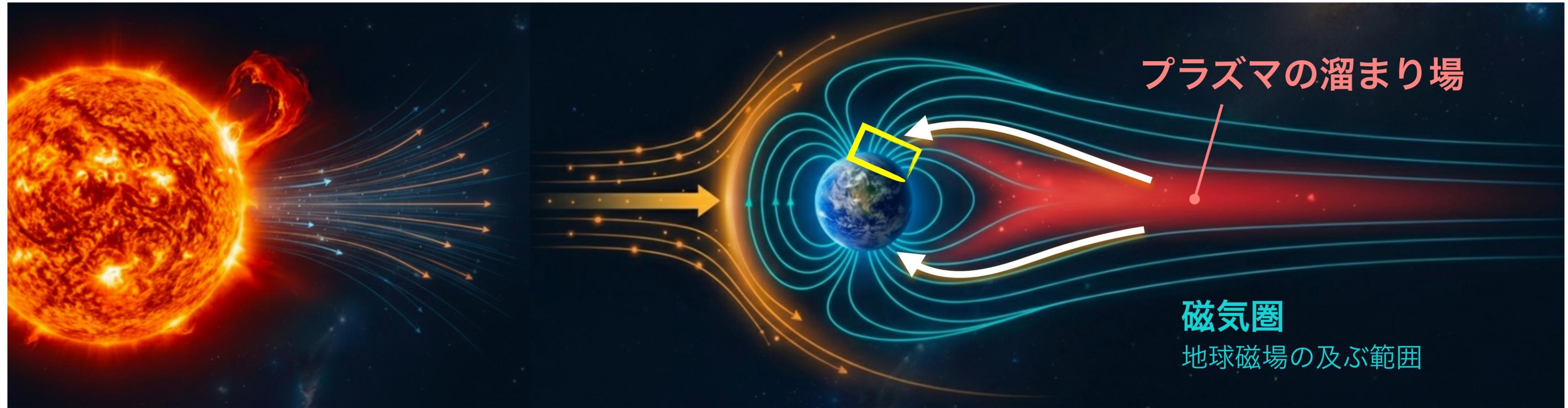
オーロラが光る原因 → 太陽風のプラズマ



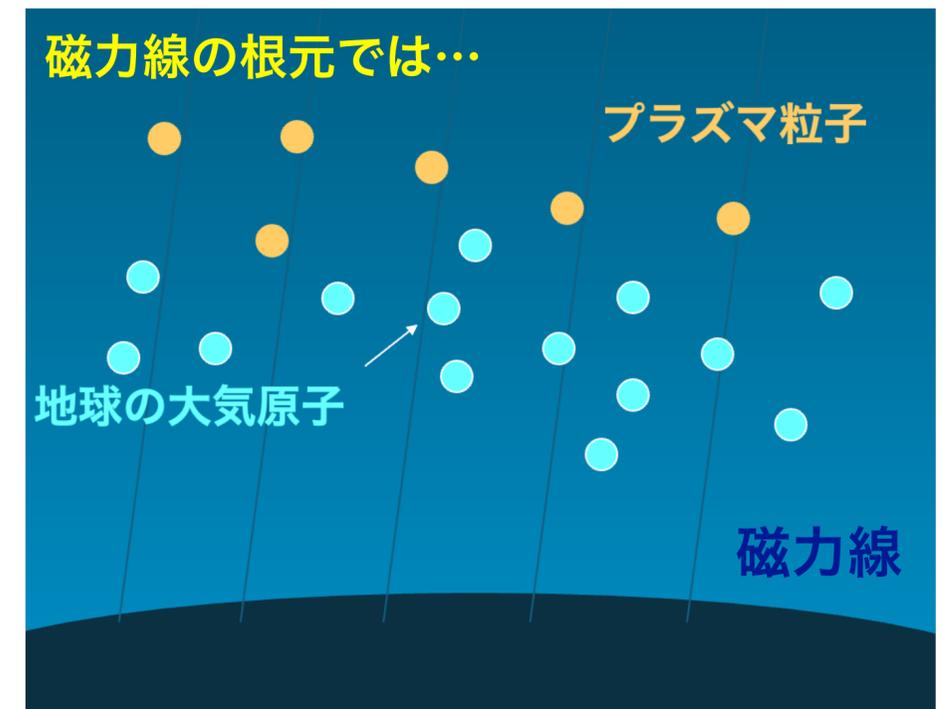
- ❖ 地球の固有磁場の影響は宇宙空間に広がっており、太陽風のバリアとして作用（=磁気圏）
- ❖ 太陽風の磁場が南向き、かつ高速の場合、磁気圏の構造が変化
→ プラズマ中の粒子が磁気圏内部に流入、夜側に溜められる
- ❖ 夜側での磁力線つながり変え（リコネクション）などにより、粒子は地球方向に加速



オーロラが光る原因 → 太陽風のプラズマ



- ❖ 地球方向に加速された粒子は磁力線沿いに電離圏へと降下
→ 大気中の粒子と衝突し、励起 → **オーロラ発生**



オーロラが光る高度と色の違い

❖ オーロラが光る高度：地上 80~500 km 上空

└─ **電離圏** の高度

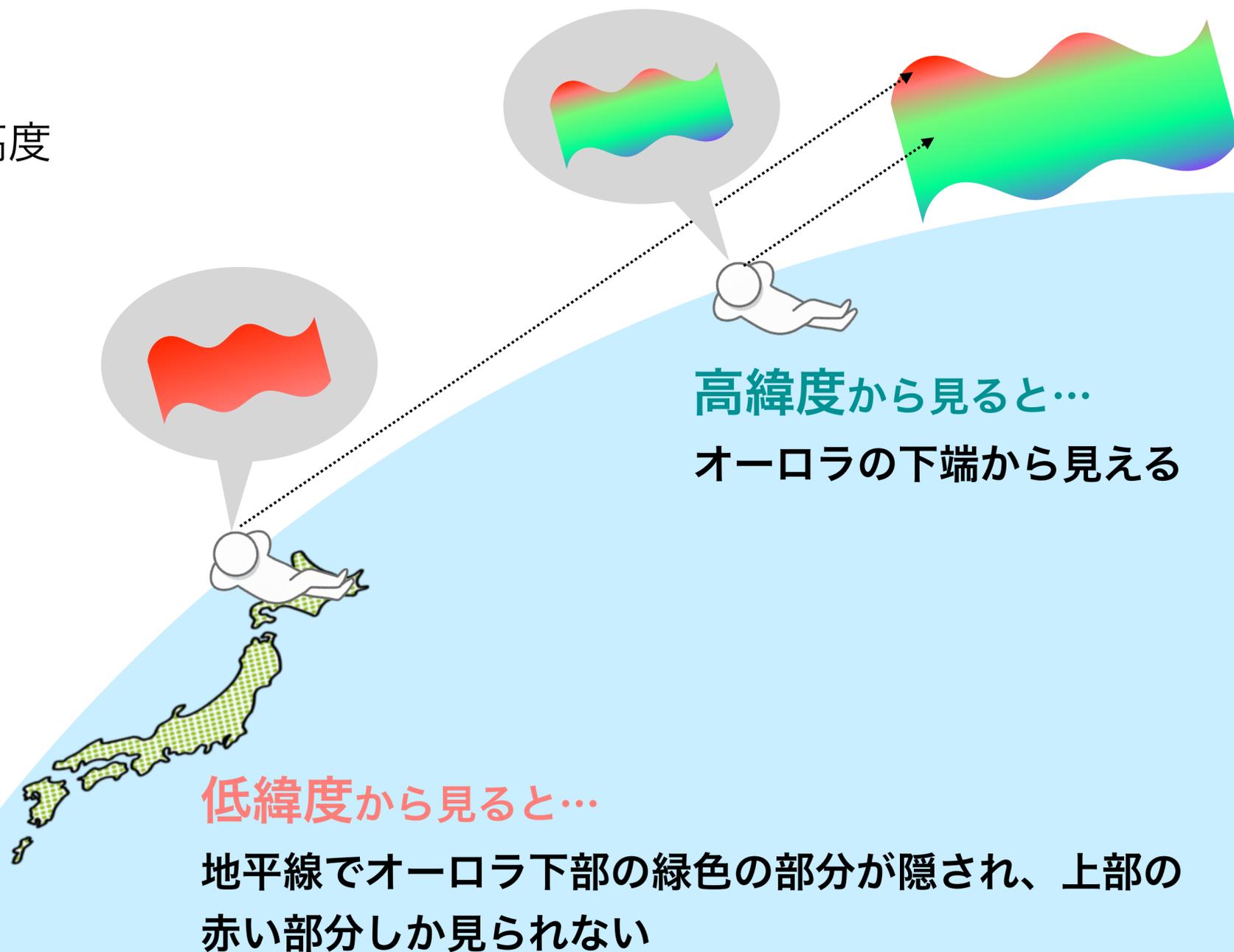
❖ 高度によって

- ・ 宇宙から降り注ぐプラズマが持つエネルギー
- ・ 大気中の原子の種類

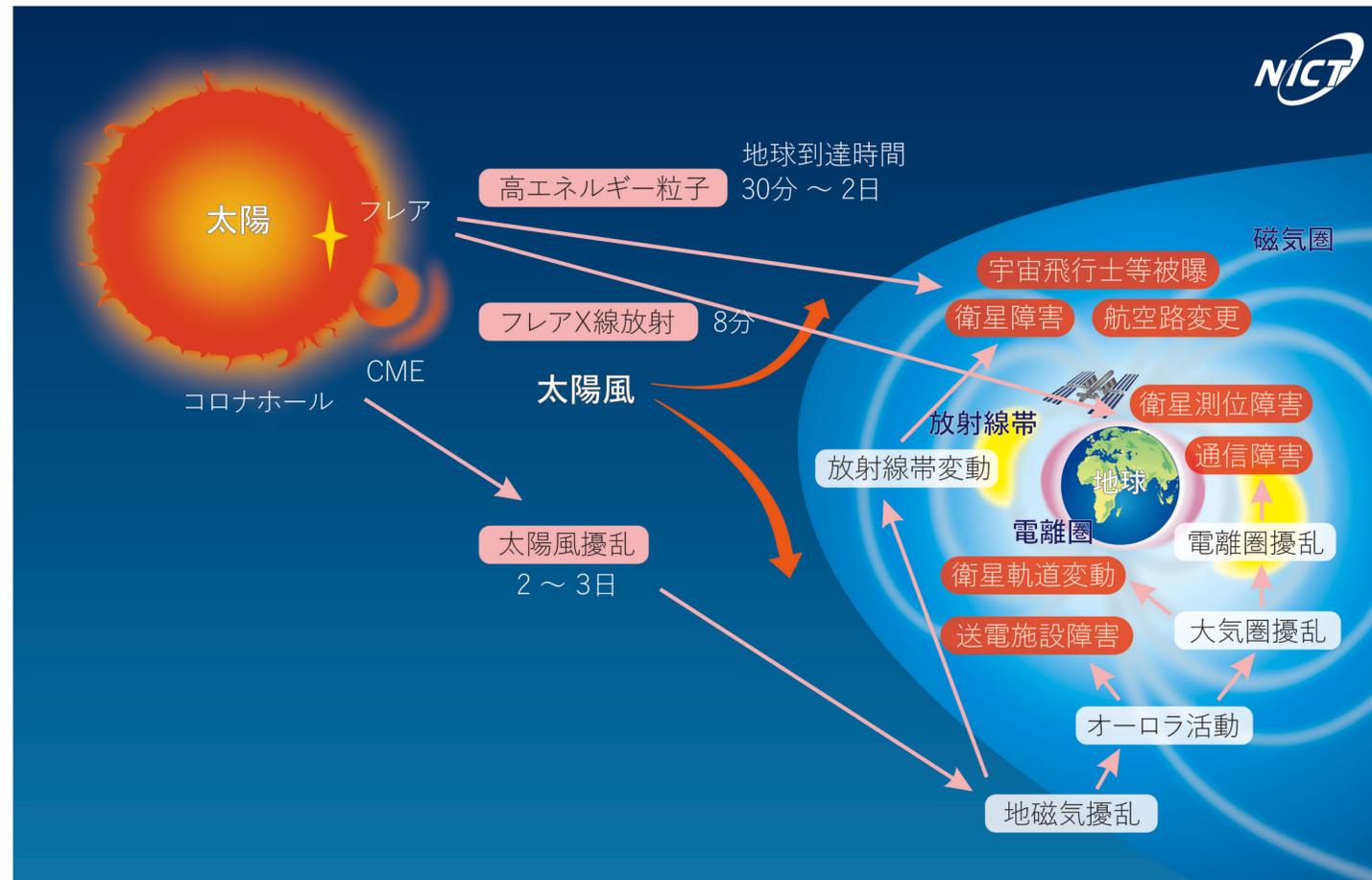
が異なる

→ 高度ごとに異なる色で光る

高度 (km)	プラズマのエネルギー	大気中の原子	オーロラの色
200 - 500	低い	酸素	赤
100 - 200	高い	酸素	緑
80 - 100	高い	窒素	ピンク・紫



オーロラは単なる "光のショー" だけではない



- ❖ プラズマ粒子（電子）の移動 = 電流の発生
→ 電流が流れると磁場も変化
- ❖ オーロラ・磁気嵐による大規模な電流変化
 - 真夜中付近の明るいオーロラでは、何百万～何千万アンペアの電流が流れることも
 - 地上の磁場が激しく時間変化
 - 地面に誘導電場（GIE）発生 ※地下構造も関与
 - 接地されている長い導体に電流（GIC）発生

送電線に過電流としての
地磁気誘導電流（GIC）発生

- ・ 変圧器の加熱による絶縁性能の劣化
 - ・ 高調波発生による保護用リレーの誤動作
 - ・ 無効電力の増加による電圧低下
- 等が発生する可能性

電力に対する影響

- ❖ 電力系統に生じるGICの実測調査やシミュレーション研究等の結果、我が国においても極端に大規模な地磁気の乱れが起きた場合、相当量の地磁気誘導電流が発生し、電力系統の脆弱な箇所が被害を受けるおそれには否定できない
 - 太陽フレア発生後経過時間：約2日後、継続時間：～最大2日程度、を想定
- ❖ GICは地上の送電網だけでなく、石油・ガスパイプラインのような長距離にわたって敷設された導体にも発生し、腐食による損傷の可能性などが指摘されている
- ❖ 実際の電力系統に生じるGICの大きさ、また対するインフラ運用者ごとの設備の耐性について不明な部分が多い

大規模宇宙天気現象に対する現象規模の推定やリスク評価等を実施し、電力系統に流れるGICを実測なしで推定できる手法を確立するとともに、警戒すべきGICの閾値を定める必要がある

電力分野の閾値検討状況

他国での検討状況

- ❖ 英国
 - Extreme space weather: Impacts on engineered system and infrastructure [Feb. 2013]
- ❖ 米国
 - National Space Weather Action Plan [Oct. 2015]
 - Space Weather Phase 1 Benchmarks [Jun. 2018]
 - National Space Weather Action Plan [Mar. 2019]
 - Next Step Space Weather Benchmark [IDA, 2019]
- ❖ NERC（北米電力信頼度協会）
 - 1989年3月イベントの地磁気変動から、GIE推定式および地下伝導度参照値を策定（GMDベンチマーク）
 - 200kV以上の変圧器について、GMDベンチマークを用いて、GICが75A/1相以上流れる場合には熱影響評価が必要としている [May, 2016]

日本における閾値は？

北米等と比較して、磁気緯度が低い（＝通常的地磁気擾乱ではGICは小さい）、海に囲まれた島国である、送電線の長さ等の違いがあるため、宇宙天気現象の規模をそのまま適用するのは難しい

参考：2022年宇宙天気ユーザーズフォーラム資料（警報基準（電力））

→ あくまで参考値、今後具体的な検討を加速させていく必要がある

閾値と発出タイミング

警報種類	事例 (地磁気擾乱)	>0.5-1日 前	約0.5-1日前	10~30分前	現在1	現在2	現在3
		活動領域 太陽磁場	フレア/CME ※発生場所も考慮： ±30度	太陽風速度 太陽風磁場	地磁気擾乱@日本	GIE ※まずは全国一様として、柿岡地電場 を目安とする。(柿岡地磁気観測所によ る地電場観測は2021年2月終了) ※事業者様の警戒値を引続き検討	GIC ※事業者様の警戒値 を引続き検討
			← フレア/CME~dH@日本の関係 →		← 地磁気擾乱@日本 ~地電場(柿岡)/GICの関係 →		
 	長時間変動 1859年, 1872年 1921年 (2012年地球と反 対側で同等規模 のCME発生) 短時間変動 1940年		右記GIE/GICを起こし うるフレアクラス /CME※	右記GIE/GICを 起こしうる太陽 風※	長時間変動：1200nT [*2] 1859年,1921年に発生 (1872年に上記を上回る規模の事 象が発生した可能性) 短時間変動：230nT [*2] 1940/03に発生	GIE~1V/km[*3]	225A/3相 [*4]
	長時間変動 1989年 2003年 短時間変動 2003年				長時間変動：500-600nT [*2] 1989年,2003年に発生 短時間変動：100nT [*2]	GIE~0.5V/km [*3]	上記225Aの約 1/2=100A/3相の 場合[*4]

[*1] 注意報：NERC (北米電力信頼度協会) の熱設計基準を超えるGICが流れうる事象の発生時

[*2] 右の閾値を超えるdHをZhang & Ebihara (2022)より推定

[*3] 右の閾値を超えるGICをある電力設備で流しうるGIE値

[*4] NERC熱設計基準=225A

[*5] Ebihara+2021

[*6] Ebihara+2021と経産省報告書2015を組合わせ、ある電力設備について推定

※：検討中(参考文献：Gopalswamy2018, Kataoka2020, NICT亘による解析)

※参考

2003年GIE(柿岡地磁気観測所)：0.5V/km、GIC(経産省報告書2015)：129A

1989年GIE(柿岡地磁気観測所)：0.4V/km、GIC(推定)：75A [*6]

1859年GIE(推定)：2.0±0.4V/km [*6]、GIC(推定)：496±174A [*6]

まとめ

- ❖ オーロラは **太陽 - 磁気圏間のエネルギー伝搬** を可視化したもの
 - 太陽風からのプラズマ粒子流入、夜側磁気圏に蓄積
 - あるタイミングで解放され、地球方向に加速
 - 電離圏へと降下、大気と衝突して発光

NICTでのオーロラ予測の取り組み
オーロラアラート

磁気圏シミュレーションをもとに予測



- ❖ オーロラの発生はプラズマ粒子の移動をとともなう **=電流の発生**
 - オーロラ・磁気嵐による大規模な電流変化をきっかけに、地面に地磁気誘導電場（GIE）が発生し、接地されている長い導体に地磁気誘導電流（GIC）発生
- ❖ 日本の場合、通常的地磁気擾乱ではGICは小さい。ただし、**極端に大規模な地磁気の乱れ**が起きた場合、相当量の地磁気誘導電流が発生し、電力系統の脆弱な箇所が被害を受ける可能性もある
 - 大規模宇宙天気現象に対する現象規模の推定やリスク評価等を実施し、**電力系統に流れるGICを実測なしで推定できる手法を確立するとともに、警戒すべきGICの閾値を定める必要がある**