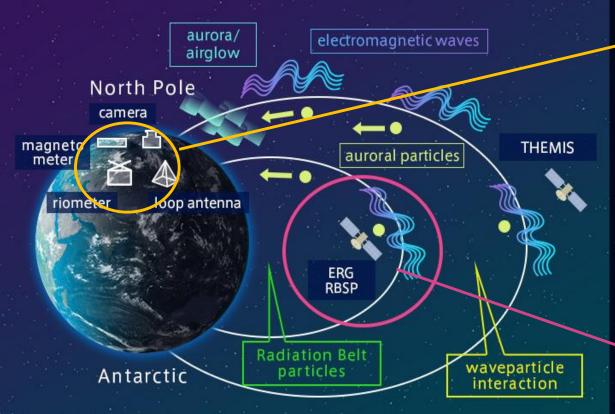
磁場モデルを用いた内部磁気圏衛星の 電離圏における位置の同定と オーロラ画像解析

- *稲葉裕大1,塩川和夫1,大塚雄一1,大山伸一郎1,2,3
- 1. 名古屋大学宇宙地球環境研究所, 2. Univ. of Oulu, Finland, 3. 国立極地研究所

Outline

- 研究概要
 - 画像解析
 - ・衛星位置の電離圏への投影
 - ・まとめ

研究概要



http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/dimr/PWING/en/

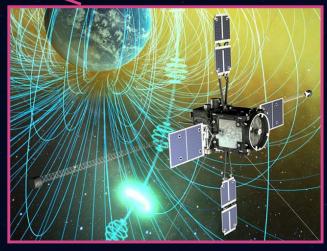
テーマはサブオーロラ帯のオーロラについて、地上全天 カメラと内部磁気圏衛星あらせを用いて、ソース領域で の電磁場や粒子の変動を明らかにすること。

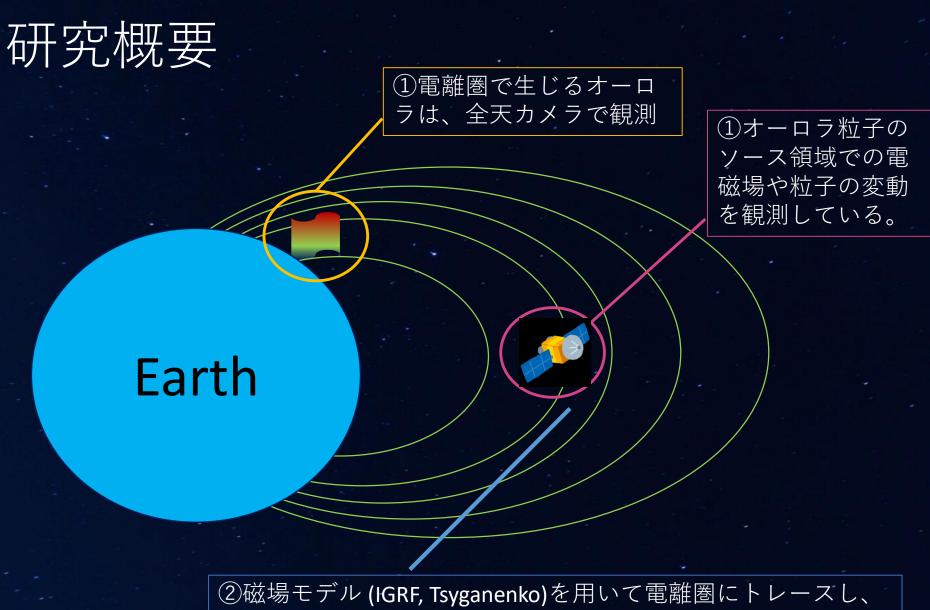
⇒現在はSAR arcと呼ばれるオーロラについて解析中

OMTI:全天カメラ (地上観測用装置)



あらせ衛星 (ERG) : 内部磁気圏観測衛星





オーロラ上空に衛星があるかどうかを判断

研究概要

衛星を電離圏に 投影した例

●全天カメラで得られた 画像を地理座標に変換し たmovie 青い点...footprint (磁力線 に沿って電離圏までト レースした衛星の位置) Geographical latitude [deg]

72.5200



52.0800

Geographical longitude [deg]

研究概要

電場スペクトル (HFA)

プロトンエネル ギーフラックス

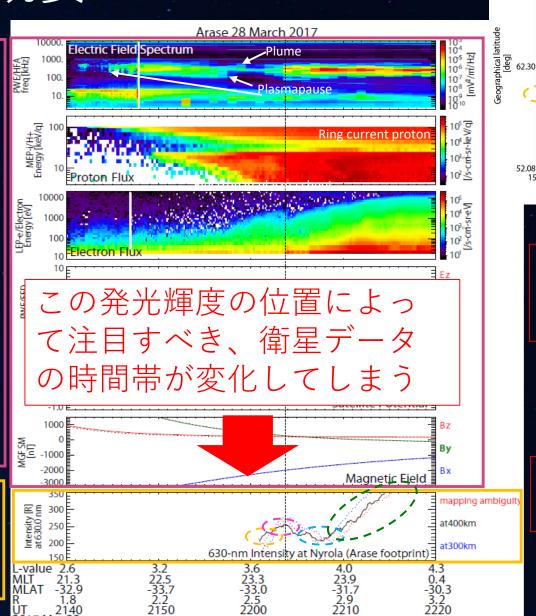
電子エネルギー フラックス

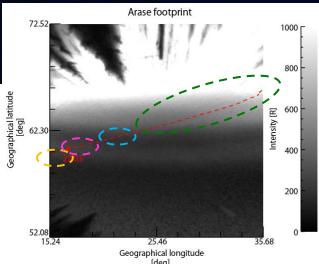
電場 (SM座標)

衛星電位

磁場 (SM座標)

あらせ衛星の フットプリント における **630.0nm**の発光 輝度





衛星位置でのオーロラ・夜間大 気光の輝度と、衛星が観測した 電磁場や粒子を比較することで、 ソース領域の様子が確認できる



様々な種類のオーロラについて、 発生メカニズムを理解するため に重要なプロセス

発表内容

この発光輝度の位置は何によって変わるか。

- ・オーロラの画像の解析の仕方。
- ・衛星を電離圏に投影する際の誤差。

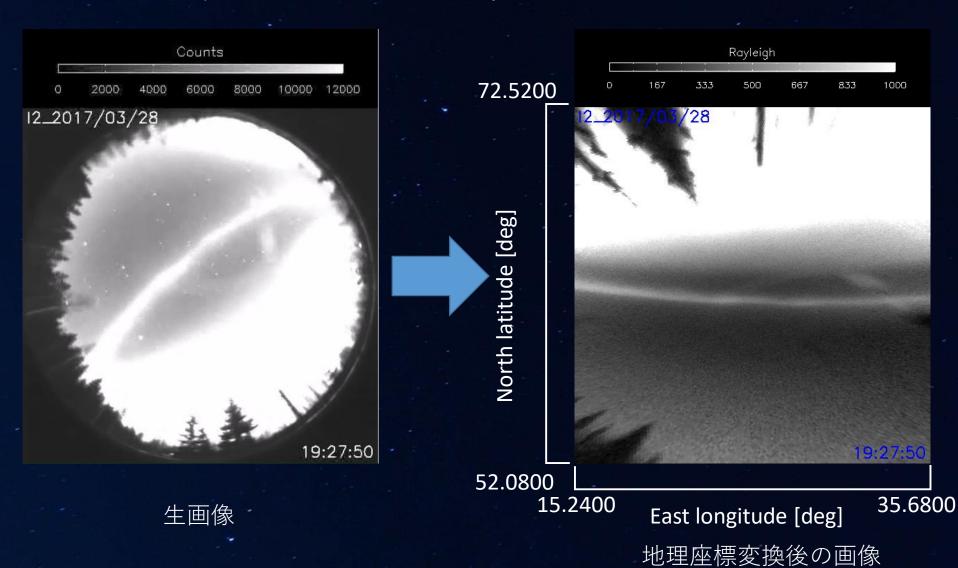


- ・これらの誤差が解析にどのような影響を与える か検証。
 - ・同時に解析手法についても説明。

Outline

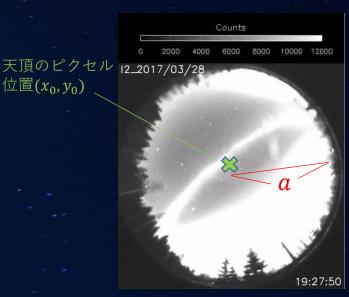
- 研究概要
- 画像解析
- ・衛星位置の電離圏への投影
- ・まとめ

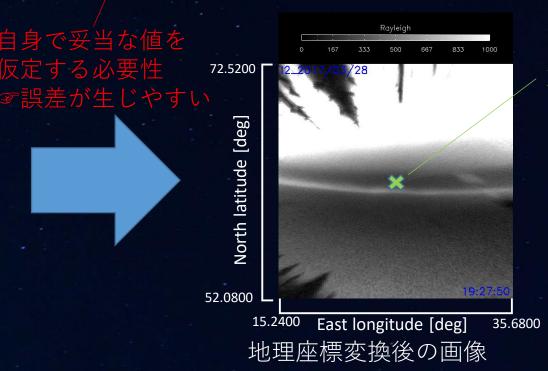
衛星の位置を明らかにするためには、まず全天カメラの生画像を - 地理座標系に変換する必要がある。



全天カメラ固有の値 ☞計算すれば決まった値 が出てくる

- ~地理座標変換の流れ~
- ① 生画像に写っている星の位置から、天頂のピクセル位置 (x_0,y_0) と画像の半径のピクセル数a,回転角 φ (生画像の真上が真北とどれくらいずれているか)を求めることができる。
- ② 天頂の位置がカメラ設置場所の緯度経度と同じであるから、 画像半径 α , 回転角 φ に加え、オーロラ・夜間大気光の発光の仮定高度hをinputすると、 生画像のそれぞれのピクセルが、どの緯度経度に対応するかが分かる。

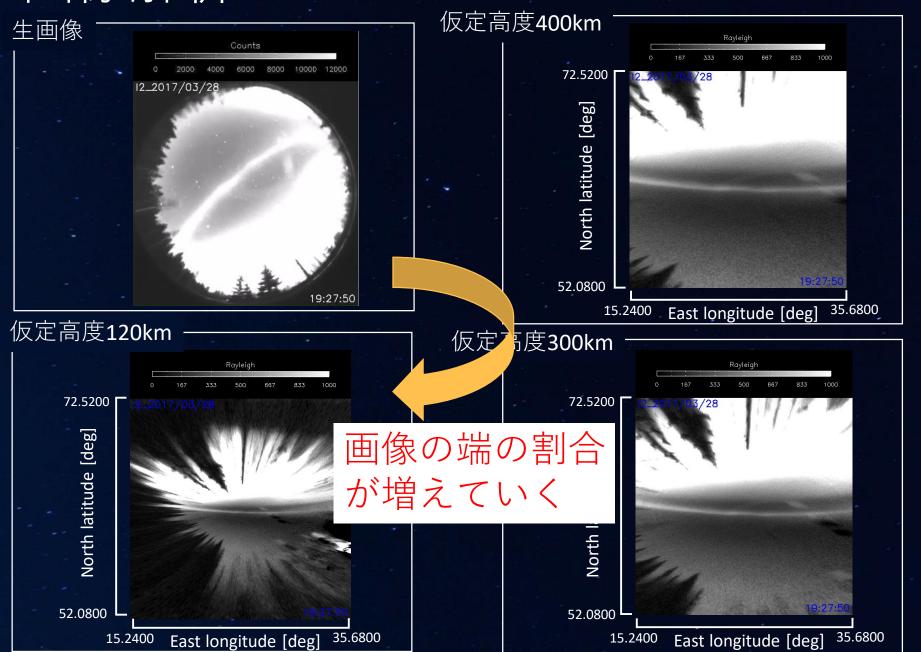




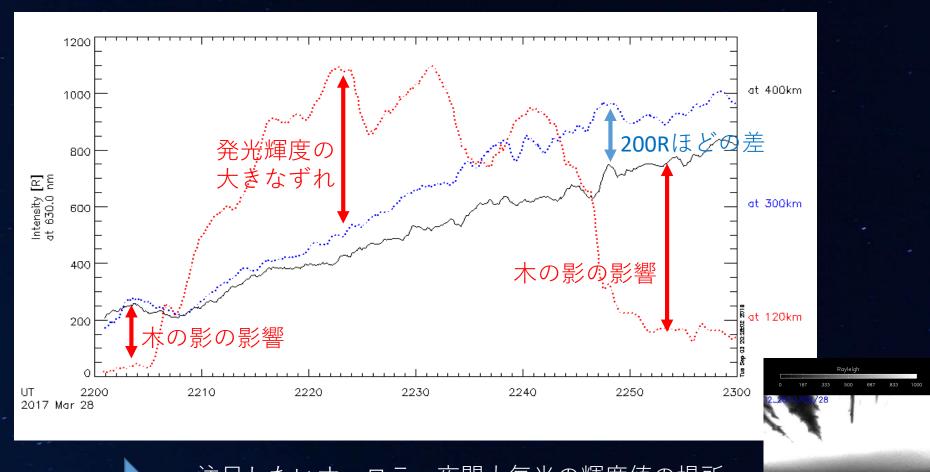
生画像

天頂

仮定高度によってどれくらいの変換の違いが見えるか



仮定高度120km, 300km, 400kmでのあらせ衛星のフットプリントにおける輝度値にもズレが生じる。

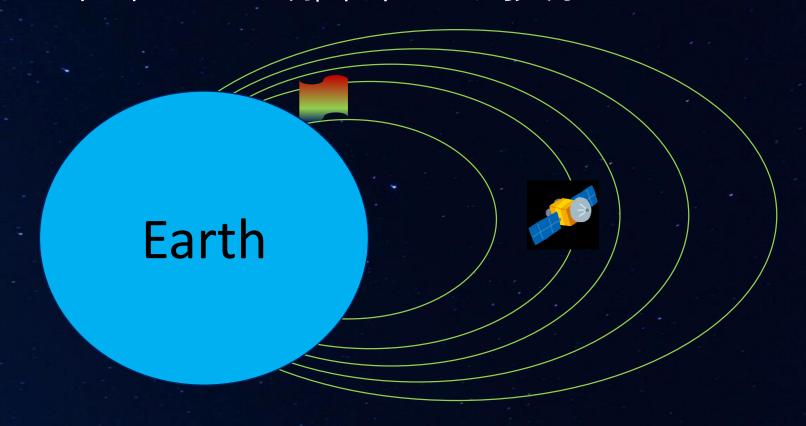




注目したいオーロラ・夜間大気光の輝度値の場所がずれる。仮定高度は重要なパラメータ&できるだけ正確に与える必要あり。

Outline

- 研究概要
 - 画像解析
 - ・衛星位置の電離圏への投影
 - ・まとめ



衛星を電離圏までmappingするためには、磁場モデルを用いる必要がある。

- IGRF model [e.g., Erwan Thebault et al., 2015]
- Tsyganenko model (T89, T01, T04S etc)
 [Tsyganenko, 1989; Tsyganenko, 2002a, 2002b; Tsyganenko and Sitnov, 2005]

☞これらのモデルはツール"GEOPACK"で用いることができる。

(http://ampere.jhuapl.edu/code/idl_geopack.html)

磁場モデルの種類

□IGRF model

ガウスの球関数を用いて地磁気のスカラーポテンシャルを展開して得られる。 展開係数として、世界各地の地磁気観測点、航空機、船舶による観測、人工衛 星によって得られた観測データに対して関数との差が最小になるように決定さ れる。(WDC Kyotoより)

☞磁場の引き延ばしが考慮されていないため、footprintが北側にずれてしまう。

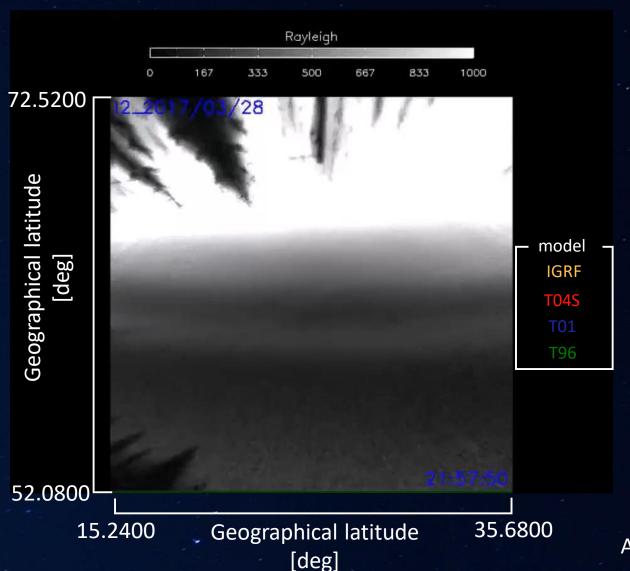
Tsyganenko model

- ・衛星観測によって、得られた磁場を平均して得られたモデル。
- ・それぞれのモデルによって使用している衛星や平均化する期間が異なる。
- ・モデルによってInput Parametersが異なる。

Table B1. List of Empirical External Magnetic Field Models					
Model Name	Input Parameters	Valid Range			
T89c: [Tsyganenko, 1989]	ψ , Kp	$r_{GEO} < 70R_e$			
OP77: [Olson and Pfitzer, 1977]	ψ	$r_{GEO} < 15R_e$			
OP88: [Pfitzer et al., 1988]	dens, velo, Dst	$r_{GEO} < 60R_e$			
T96: [Tsyganenko and Stern, 1996]	ψ , Dst, P, By, Bz	$r_{GEO} < 40R_e$			
OM97: [Ostapenko and Maltsev,	ψ , Dst, P, Bz, Kp	no limit			
1997]					
T01: [Tsyganenko, 2002a, 2002b]	ψ , Dst, P, By, Bz	$x_{GSM} > -15R_e$			
T01s: [Tsyganenko et al., 2003]	ψ , Dst, P, By, Bz, Gs	$x_{GSM} > -15R_e$			
·	·				

Chen et al., [2006] (Appendix A)

●2017年3月28日の Nyrola上空の衛星の軌道



ムービー上で、それぞれ のモデルでの軌道を見て みる

> IGRFが<u>北側に大き</u> <u>くずれ</u>、T96が大 きく東側にずれる

Assumed height: 400km

- ●どのTsyganenko modelが最適か。
 - ・Chen et al. [2006]の統計解析によると、Dst指数によって使用する磁場を変えると良いという結果。

磁場モデル	Dst index	Performance
T01S model	-180∼-30nT	60~80% の時間で ぴったり一致する
All model	-30∼50 nT	どのモデルも同じ ようなPerformance

・Huang et al. [2007]の統計解析によると、T04Sが最適。

磁場モデル	Performance
T01, T96 model	静穏時に用いると良い。磁気嵐主相と回復相 で誤差が大きい。
T04S model	内部磁気圏について静穏時も磁気嵐時も磁場 がよく再現されている。しかし、極端に強い 磁気嵐の時は注意が必要。

Outline

- 研究概要
- 画像解析
- ・衛星位置の電離圏への投影
- ・まとめ

まとめ

- ・仮定高度によるズレに注意 愛先行研究などで分かっている、より妥当な 発光高度を与えると良い。
- 3点測量の可能性
 同じ観測対象を離れた二つの定点から観測すれば高度が分かる。
 より正確な座標変換が可能に。
 (PWINGプロジェクトで試験的に行う予定)
- 適切な磁場モデルの使用愛地磁気擾乱の規模に応じて使用モデルを 変えると精度が増す。

[e.g., chen et al., 2006; Huang et al., 2007]

END





Tsyganenko model

Table 1. Summary of the Distinguishing Properties of the Tsyganenko Models (T96, T02, and TS05): Boundary Prescriptions, Field Sources, Fitted Magnetic Field Data, Model Inputs, and Calculation Methods

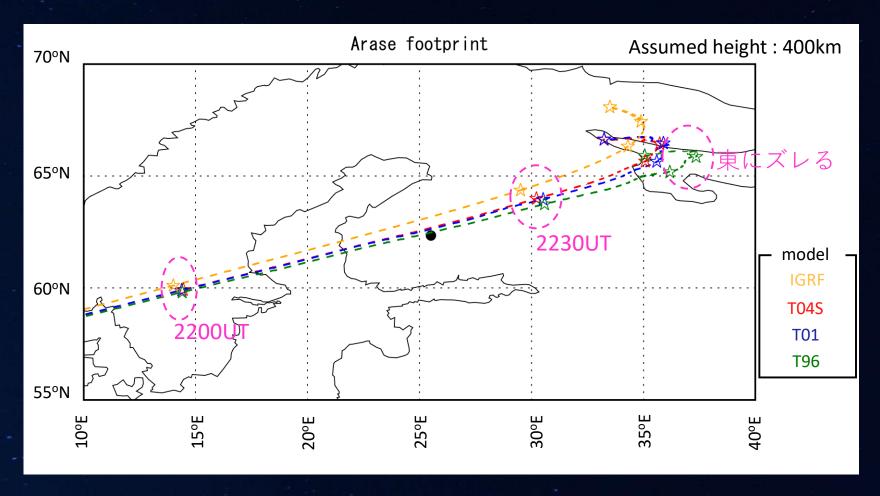
	T96	T02	TS05
Boundary prescriptions	magnetopause based on Sibeck et al. [1991]	magnetopause based on Shue et al. [1998] and tailward \leq 15 R_E	same as T02
Field sources	$B_{CF} + B_{SRC} + B_{TC} + B_{FAC} + B_{INT}$	same as T96, plus B_{PRC}	same as T02
Fitted magnetic field data	non-storm and stormtime data ^a	same as T96 ^b	storm-time data from 37 magnetic storm events ^c
Model inputs	P_{dyn} , D_{st} , IMF B_y and B_z and dipole tilt	same as T96, plus two indices (G_1 and G_2) representing time-integration effect	same as T96, plus six indices $(W_1 - W_6)$ representing time-integration effect
Calculation methods	linear amplitude of the field sources depends on model inputs	same as T96	non-linear saturation for extreme storm conditions; each field source has its own relaxation time and driving functions
An m rende ren			

aIMPs, HEOS, ISEE-1 and 2.

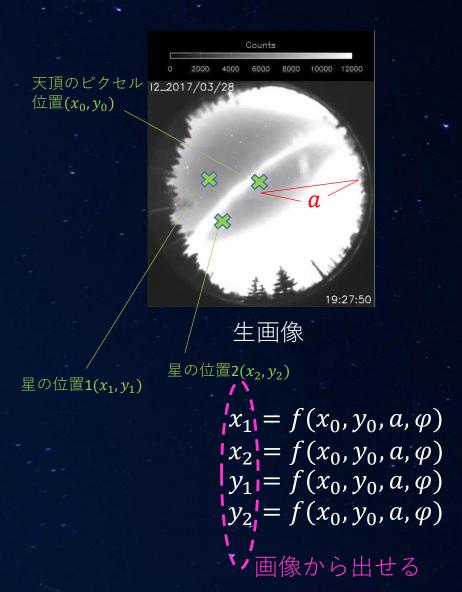
^bGeotail, Polar, ISEE-2, AMPTE/CCE, AMPTE/IRM, CRRES, and DE-1.

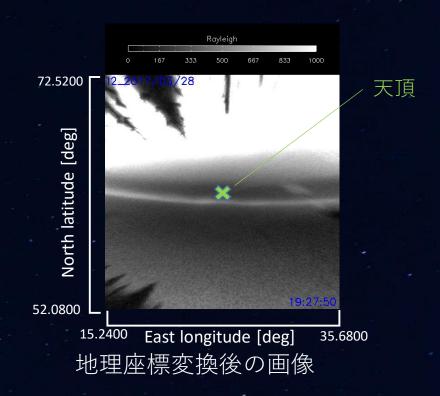
GOES-8, 9, and 10, Polar, Geotail, and Equator-S.

●2017年3月28日の Nyrola上空の衛星の軌道



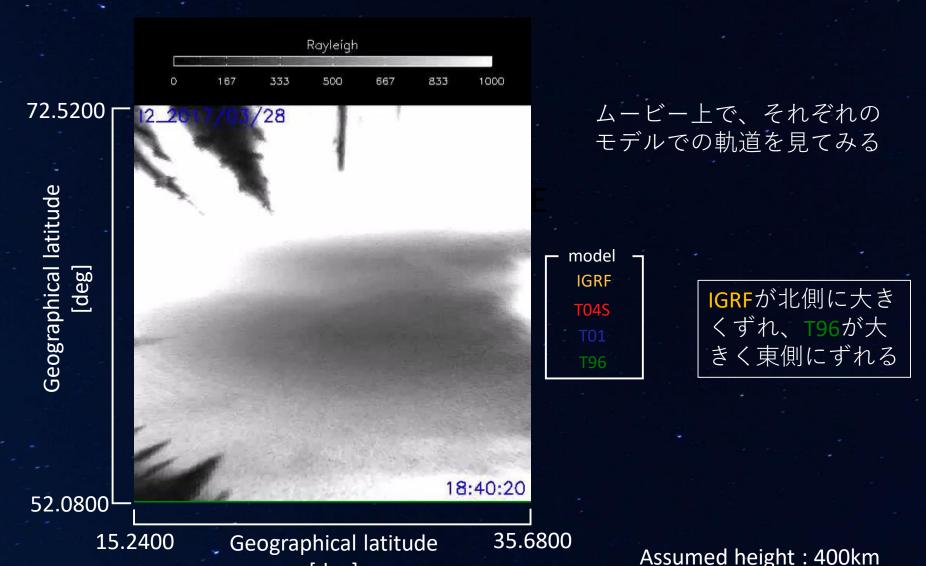
- ・IGRF modelとTsyganenko modelではズレが大きい。
- ・T01とT04Sはほぼ一致しているが、T96は経度方向に大きくズレた。



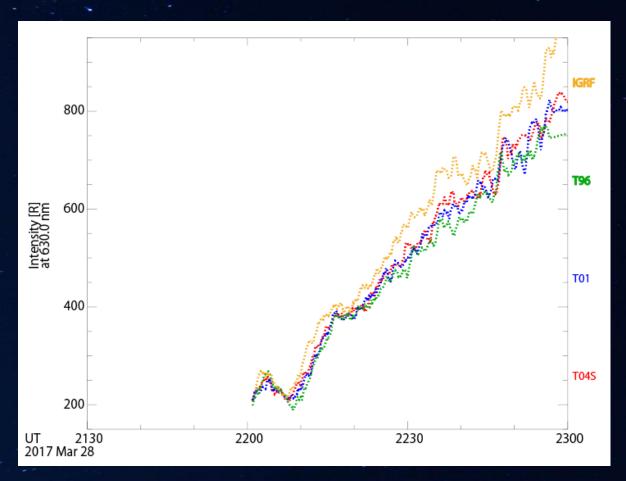


●2017年3月28日の Nyrola上空の衛星の軌道

[deg]



●あらせ衛星のフットプリントにおける輝度値変化



IGRF以外はよく一致し ているようにみえる。

今回注目した構造は、 アーク状であったため、モデルによる位 置の違いの影響を受 けにくかった。

Assumed height: 400km