## 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

2

・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



### 研究概要





## 研究概要





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。



・同時に解析手法についても説明。

## Outline

• 研究概要



### ・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。



### 画像解析

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 $\varphi$  (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*a*, 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。



#### 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

### 衛星位置の電離圏への投影

衛星を電離圏までmappingす<u>るためには、磁場モデルを用いる必要がある。</u>

- IGRF model [e.g., Erwan Thebault et al., 2015]
- Tsyganenko model (T89, T01, T04S etc)

Earth

[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)

### 衛星位置の電離圏への投影

磁場モデルの種類

#### <u>IGRF model</u>

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<u>側にずれてしまう。</u>

#### <u>Tsyganenko model</u>

- ・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, Κρ	$r_{GEO} < 70R_e$		
OP77: [Olson and Pfitzer, 1977]	$\psi$	$r_{GEO} < 15R_e$		
OP88: [Pfitzer et al., 1988]	dens, velo, Dst	$r_{GEO} < 60R_e$		
T96: [Tsyganenko and Stern, 1996]	$\psi$ , Dst, P, By, Bz	$r_{GEO} < 40R_e$		
OM97: [Ostapenko and Maltsev,	$\psi$ , Dst, P, Bz, Kp	no limit		
1997]				
T01: [Tsyganenko, 2002a, 2002b]	$\psi$ , Dst, P, By, Bz	$x_{GSM} > -15R_e$		
T01s: [Tsyganenko et al., 2003]	$\psi$ , Dst, P, By, Bz, Gs	$x_{GSM} > -15R_e$		

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

## 衛星位置の電離圏への投影 ●2017年3月28日のNyrola上空の衛星の軌道



### 衛星位置の電離圏への投影

#### 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	<b>60~80%</b> 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 <b>Performance</b>

・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

・まとめ

### ・衛星位置の電離圏への投影

## まとめ

## ・仮定高度によるズレに注意 ☞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
☞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

	Т96	T02	TS05
Boundary prescriptions	magnetopause based on Sibeck et al. [1991]	magnetopause based on <i>Shue et al.</i> [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 <sup>a</sup>	same as T96 <sup>b</sup>	storm-time data from 37 magnetic storm events°
Model inputs	$P_{dyn}, D_{st}$ , IMF $B_y$ and $B_z$ and dipole tilt	same as T96, plus two indices (G <sub>1</sub> and G <sub>2</sub> ) 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

<sup>a</sup>IMPs, HEOS, ISEE-1 and 2. <sup>b</sup>Geotail, Polar, ISEE-2, AMPTE/CCE, AMPTE/IRM, CRRES, and DE-1. <sup>c</sup>GOES-8, 9, and 10, Polar, Geotail, and Equator-S.

## 衛星位置の電離圏への投影 ●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。

画像解析



## 衛星位置の電離圏への投影 ●2017年3月28日のNyrola上空の衛星の軌道

![](_page_25_Figure_1.jpeg)

## 衛星位置の電離圏への投影 ●あらせ衛星のフットプリントにおける輝度値変化

![](_page_26_Figure_1.jpeg)

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