

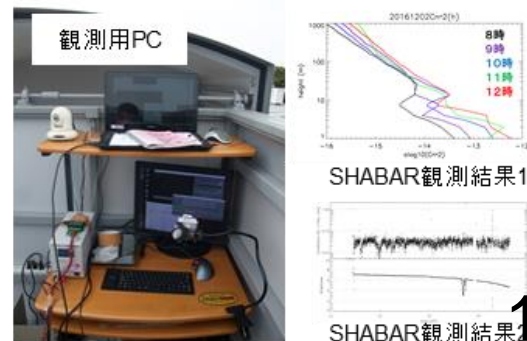
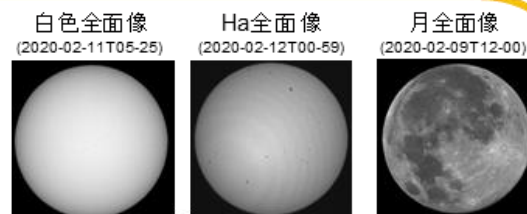


野澤恵(のざわさとし) satoshi.nozawa.i@vc.ibaraki.ac.jp
 研究対象: 宇宙天気、太陽物理、人工衛星障害など



- 太陽を起点の研究
- ・ 太陽が人工衛星に与える影響や障害
 - ・ 様々な太陽観測
 - ・ 宇宙磁気現象の解明

観測機器の一例



YACかわら版 222

2022年2月23日

スターリンク4-7

2月21日14:44にケープカナベラル宇宙軍基地SLC 40 (1月31日にCSG FM2を打上げた発射台) からスターリンク4-8を積んだファルコン9が打上げられました。

- ・1段目ブースター-B1058.11は11回目の使用で約636km離れた大西洋の台船 (A Shortfall of Gravitas) に無事着地
- ・ブースターの11回目の使用は 2機目
- ・衛星のフェアリング半分ずつは、それぞれ4回目の使用

YACかわら版220で「スターリンク4-7」打上後ほとんどの衛星が、地磁気嵐で破損しましたとお伝えしていますがその打上と比較しましょう。

2月3日 LC-39A→スターリンク4-7 49機 210 x 339km
積荷推定約14トン

2月21日 SLC 40→スターリンク4-8 46機 325 x 337 km
積荷推定約13.2トン

衛星の数を減らし、軌道を変化させたのかな？

名	前	衛星高度 (km)		
		21日午後	23日午後	25日午後
STARLINK-3167	350.3	356	366	
STARLINK-3181	360.8	349	359	
STARLINK-3166	361.4	355	360	
STARLINK-3419	346.2	354	362	
STARLINK-3189	345.5	355.4	362	
STARLINK-3401	363.1	355	363	
STARLINK-3178	344	356	356	
STARLINK-3174	343.7	351	356	
STARLINK-3182	363.4	355	367	
STARLINK-3165	313	322	325	
STARLINK-3415	341.8	355	369	

2月3日に打上げられたスターリンク4-7の49機のうち、24日午後現在11機が軌道上で確認できます。

(Heavens-above使用)
*高度はlizard-tail.com サイトを使用。

Starlink - dynamic 3D orbit display

<https://heavens-above.com/Starlink.aspx>



Starlink - dynamic 3D orbit display

Launch: Starlink G4-7, 03 February 2022 18:13 UTC

Time controls: [play] [stop] [refresh]

Select OSPPR Out: [dropdown]

Select Satellite: [dropdown]

Starlink G4-8, 21 February 2022 14:44 UTC

Starlink G4-7, 03 February 2022 18:13 UTC

Starlink G4-6, 19 January 2022 02:02 UTC

Starlink G4-5, 02 December 2021 12:42 UTC

Starlink G4-4, 18 December 2021 12:42 UTC

Starlink G4-3, 02 December 2021 12:19 UTC

Starlink v1.5.1, 14 September 2021 03:53 UTC

Starlink L28, 26 May 2021 18:59 UTC

Starlink L28, 15 May 2021 22:56 UTC

Starlink L27, 08 May 2021 08:42 UTC

Starlink L25, 04 May 2021 13:01 UTC

Starlink L24, 29 April 2021 03:44 UTC

Starlink L23, 07 April 2021 16:34 UTC

Starlink L22, 24 March 2021 08:26 UTC

Starlink L21, 14 March 2021 10:01 UTC

Starlink L20, 11 March 2021 08:13 UTC

Starlink L17, 04 March 2021 08:24 UTC

Starlink L19, 16 February 2021 03:59 UTC

打上日の設定

設定日だけの衛星

Starlink - dynamic 3D orbit display

Launch: [all] Time controls: [play] [stop] [refresh] Time: 13:58:42

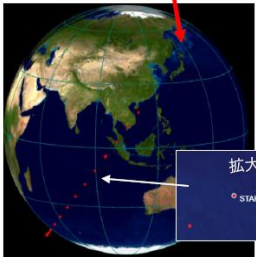
Select Satellite: [dropdown]

全ての衛星

拡大

STARLINK-3230(50845)

グーグルアースのように操作可能



2022年2月7日にプエルトリコ上空で、スターリンク衛星の一部が、地磁気嵐の影響を受け軌道を外れた可能性が高いとされています
https://cin.msc.cmc.futurecin.net/CALEXWc7q8Yc73m382v0-970-80.jpcc_wbpc

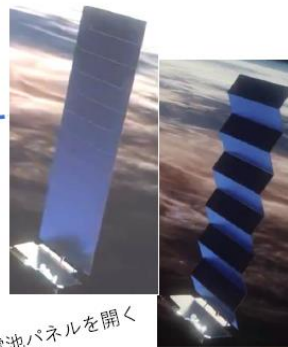
49機の衛星のうち38機に被害を与えた太陽爆風からの荷電粒子による2月4日の地磁気嵐とはどんなものだったのでしょうか。

気象庁には地磁気観測所があります。この分野でも日本は存在感のある研究を重ねています。
https://www.kakiokajma.go.jp/knowledge/mg_bg.html

磁気嵐の基礎知識
太陽面での大規模な爆発により放出された高エネルギー粒子が地球に到達した際に観測されるような顕著な地磁気擾乱を磁気嵐と呼んでいます。
地磁気の単位はnT (ナノテスラ) を用います。日本付近の平均的な地磁気の水平分力 (H) の大きさは約3万nTで、静穏時の日変化の振幅は50nT程度ですが、磁気嵐の時は50~数百nTに達する地磁気変化 (較差) が観測されることもあります。
©気象庁

アメリカ海洋大気庁 (NOAA) によると、今回の**磁気嵐の規模は5段階 (G1~G5) のうち一番低いG1**で、人工衛星の運用には**軽微な影響が及ぶ可能性**があると同庁は解説しています。しかし、打ち上げ直後のスターリンク衛星が投入されたのは高度**210km**という比較的低い軌道だったため、磁気嵐の影響を強く受けることになってしまったようです。スペースXによると、今回打ち上げられた衛星は、**過去の打ち上げ時と比べて最大50パーセント強い大気抵抗を受けた**といえます。スターリンクの運用チームは衛星の動作をセーフモードに切り替えて、フラットなパネル形状の機体が**大気から受ける抵抗を最小化するように姿勢を調整**したものの、衛星の多くはこの状況を脱することができませんでした。<https://sorae.info/space/20220216-spacex-starlink.html>

軌道上のスターリンク衛星



高度550kmの軌道へ移動

クリプトンを使用してホールスラスタエンジンで軌道上の位置調整、高度維持等
スタートラッカーナビゲーションシステム
自立移動可能



太陽電池パネルを開く



後まず高度325kmへ
前回高度約210km

計画的に放出される衛星

第2段から展開される衛星イメージ

← フェアリングは2面で構成物で構成互利用

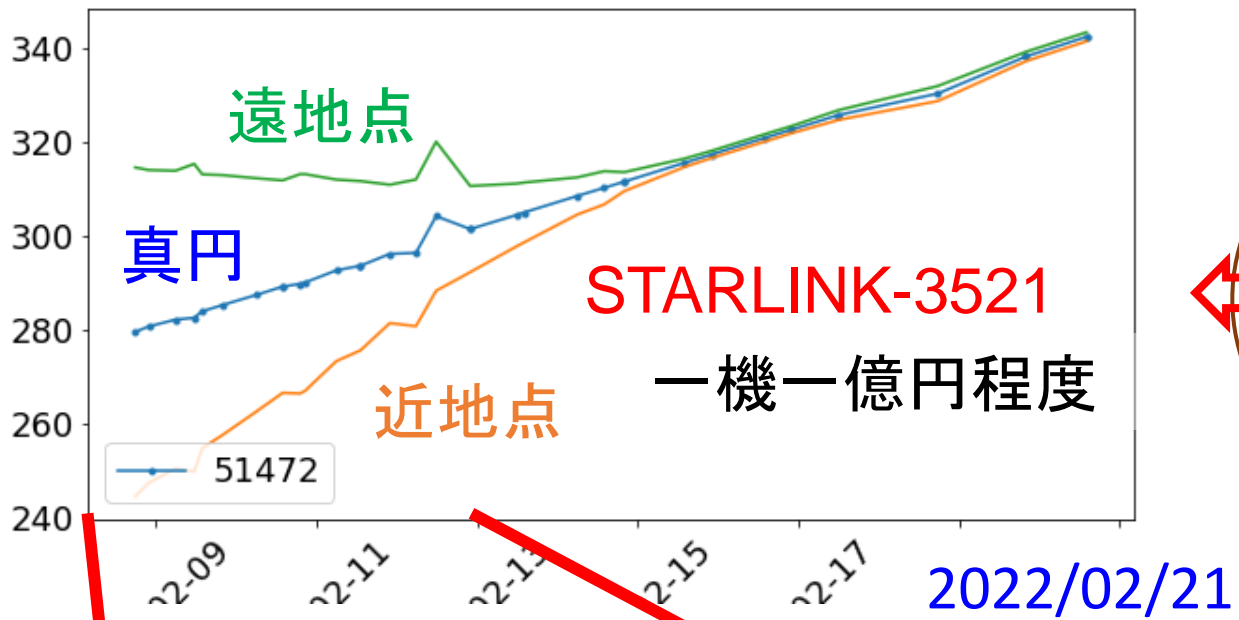


→ フェアリング内のラックに整然と収納された衛星

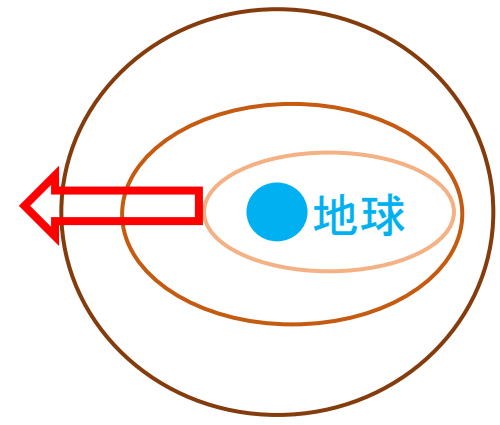


このページの画像は©SpaceXと©express.coとCNASA

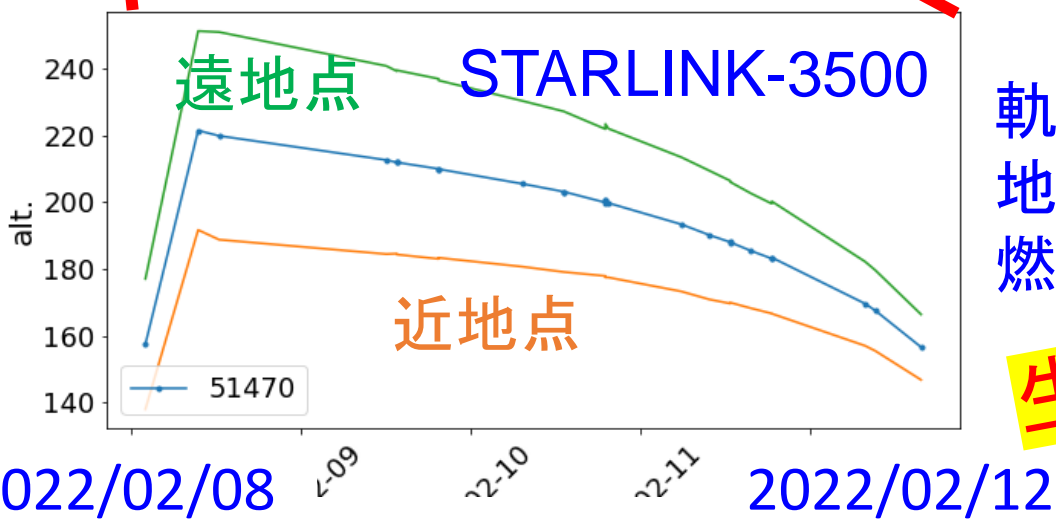
軌道高度(km)
alt.



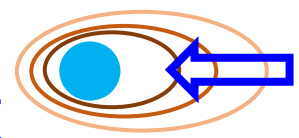
軌道投入成功



2/3打上

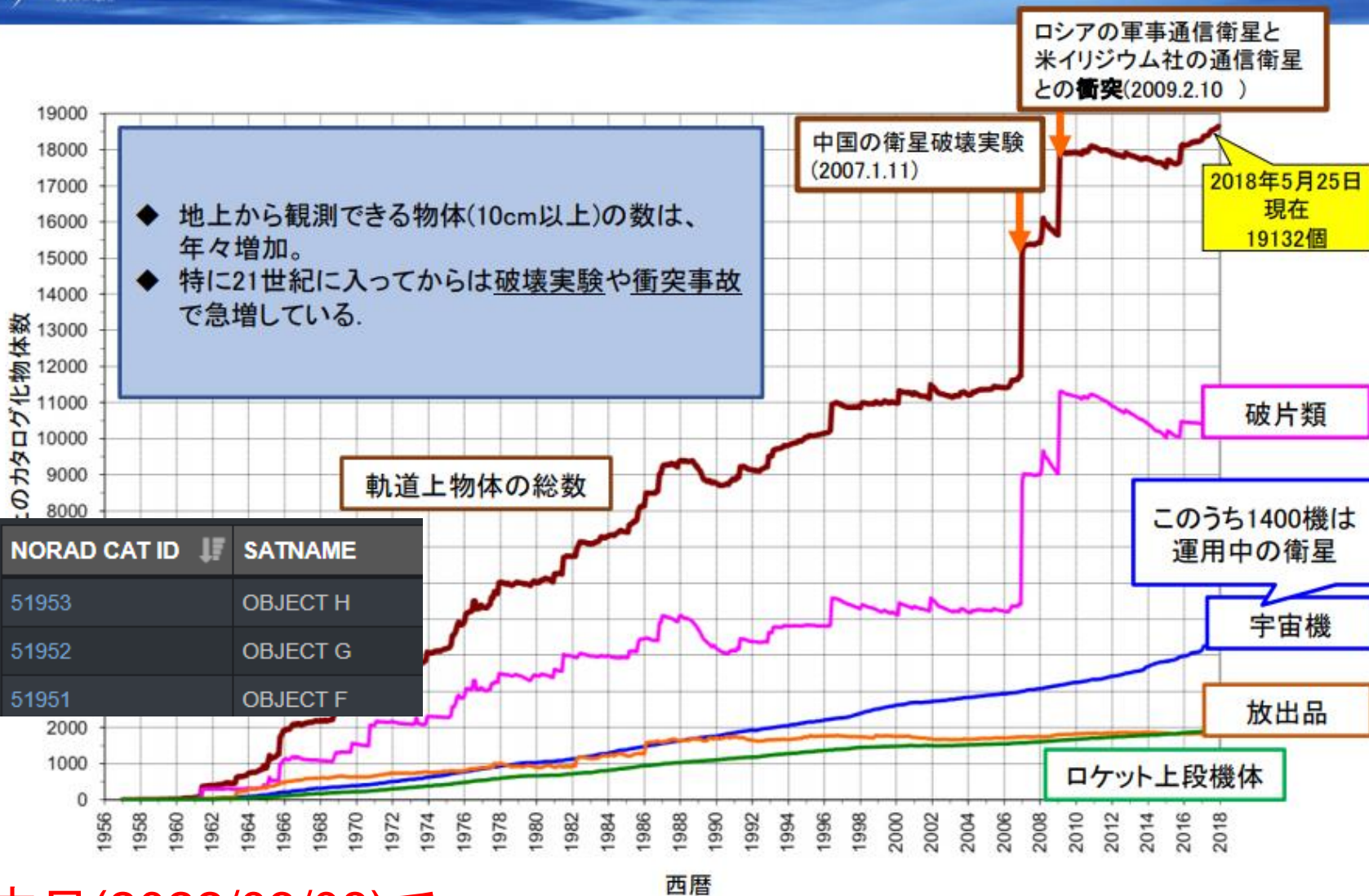


軌道投入失敗
地球に落下し
燃え尽きた



生死の分れ目は何か?

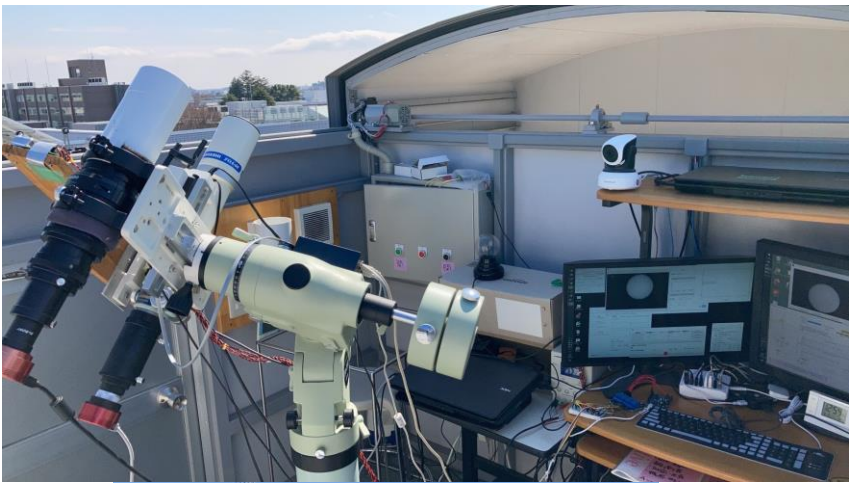
AXA 米国が地上監視データから公表している軌道上物体の数



NORAD CAT ID	SATNAME
51953	OBJECT H
51952	OBJECT G
51951	OBJECT F

本日(2022/03/08)で
51953が登録

観測限界(公称値): 低軌道10cm以上, 静止軌道1m以上
出展: NASA Orbital Debris Quarterly News, Volume 20, Issues 1&2, April 2016



観測装置・システム開発

自己紹介

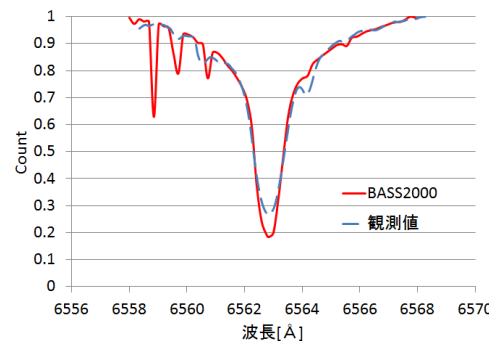
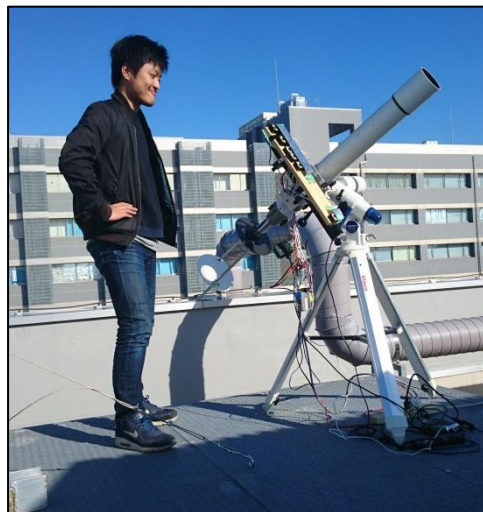
院生生活

研究室

研究紹介

就職活動

自動追尾システムや小型分光器など
研究・教育目的で装置・システムの開発および性能評価を行う



観測

自己紹介

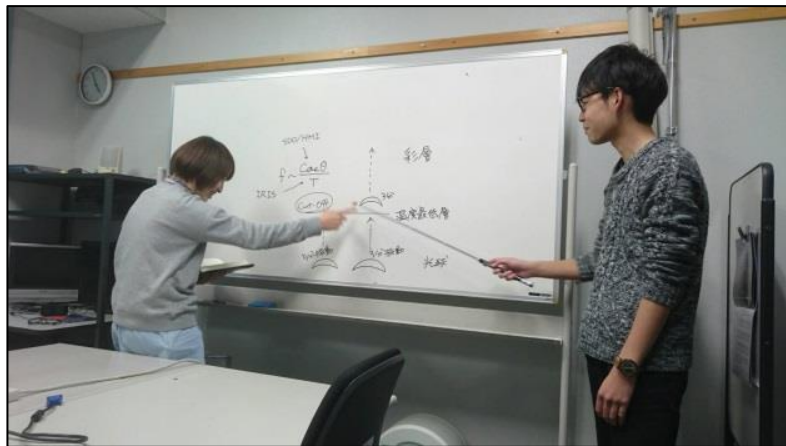
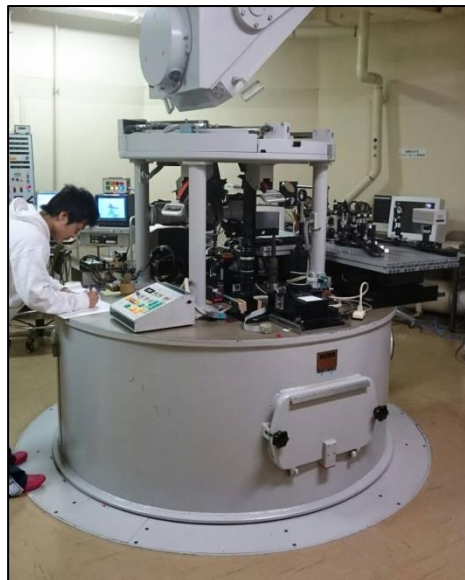
院生生活

研究室

研究紹介

就職活動

地上望遠鏡や人工衛星の観測データを
解析することで太陽における現象を解明する



G棟屋上にスライディンググループの観測室



宇宙天気

自己紹介

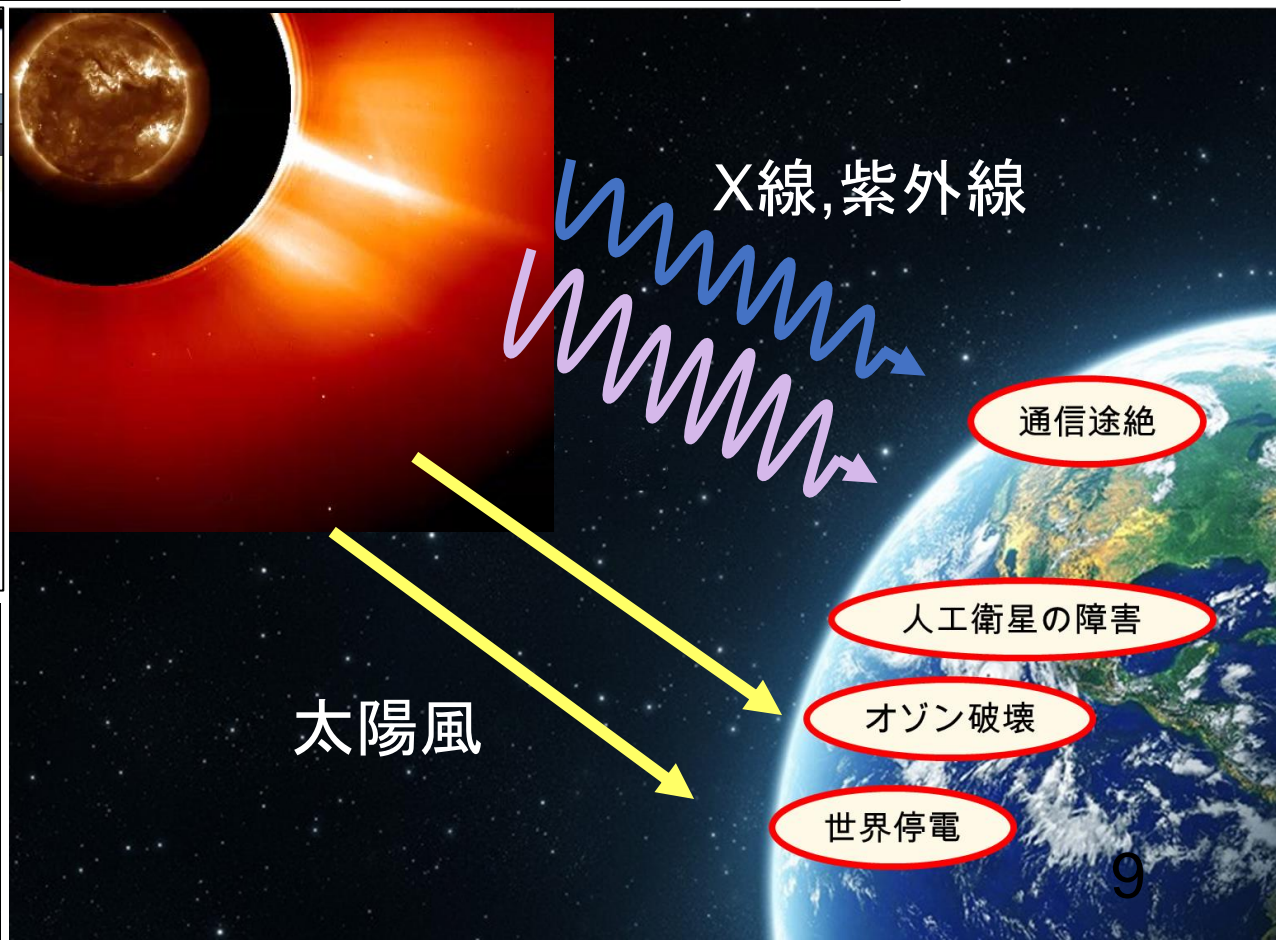
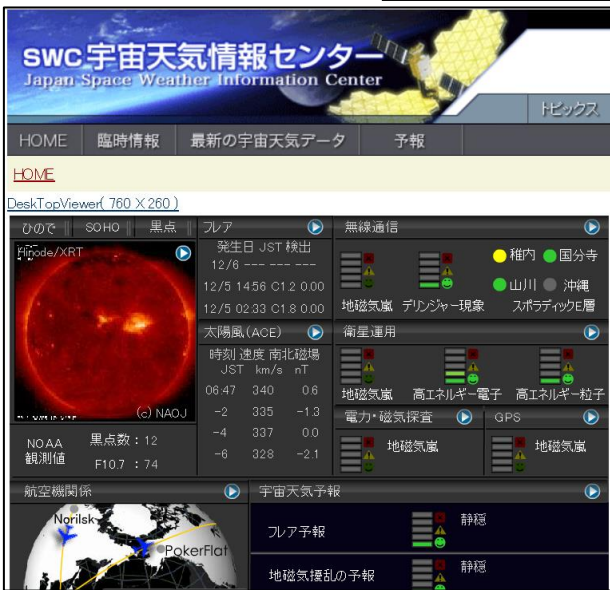
院生生活

研究室

研究紹介

就職活動

太陽活動と、地球で観測される現象の 因果関係を解明する(基本的に統計解析)



シミュレーション

自己紹介

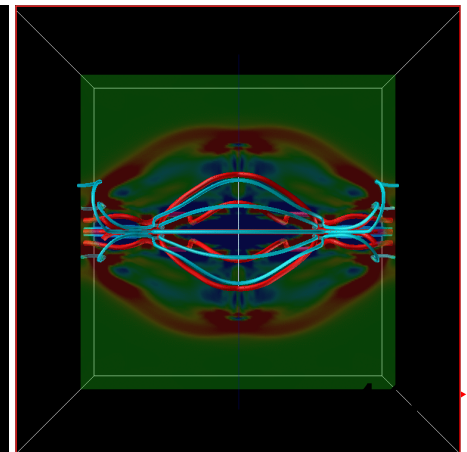
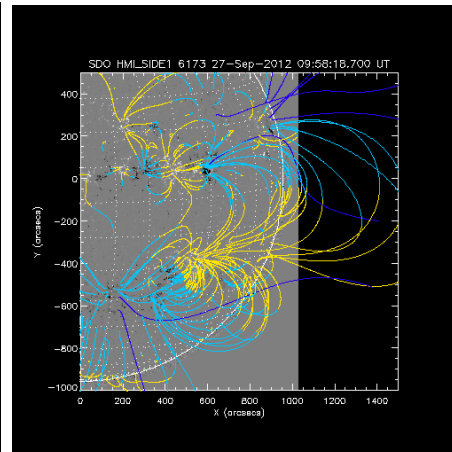
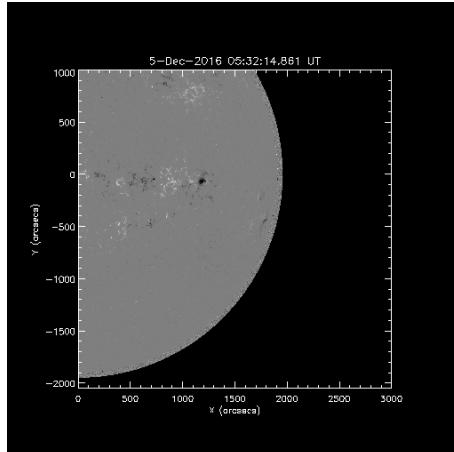
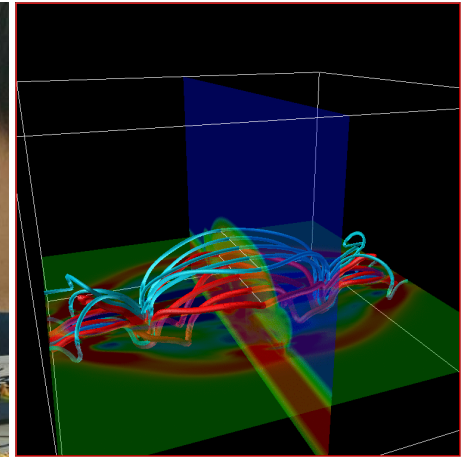
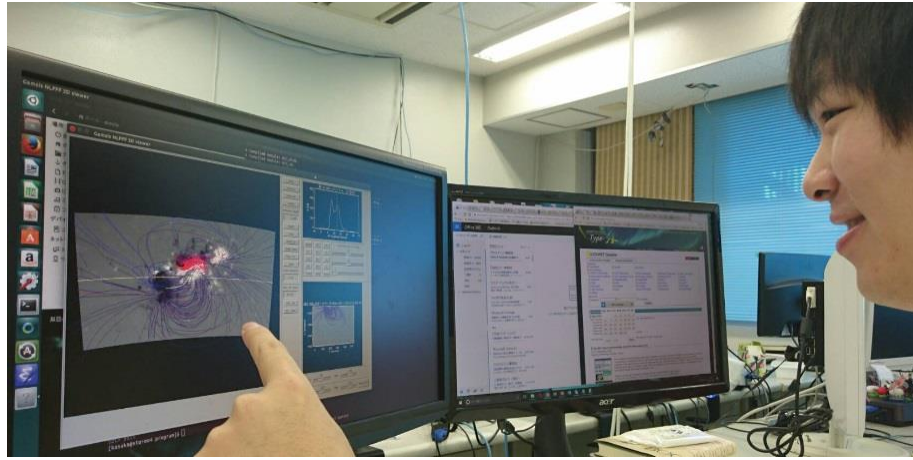
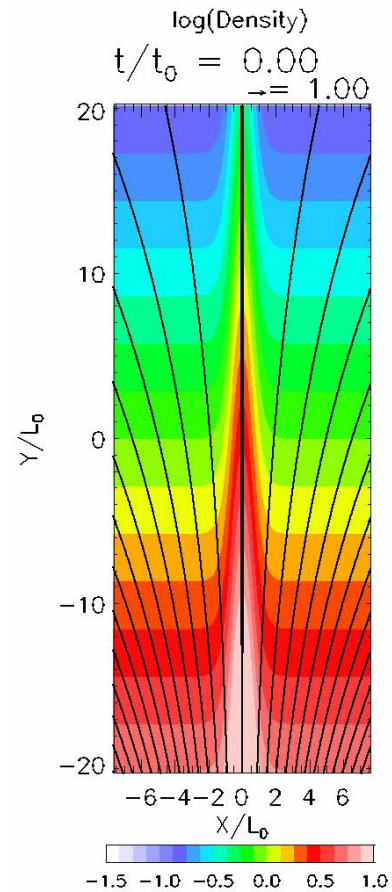
院生生活

研究室

研究紹介

就職活動

太陽で起きた現象を計算機を使ってシミュレーションし
観測と比較することで“そこで何が起きているのか”解明する



文理融合研究、歴史資料活用、古天文学

自己紹介

院生生活

研究室

研究紹介

就職活動

歴史資料を活用した研究を行う

歴史資料を活用した
減災・気候変動適応に向けた
新たな研究分野の創成

国文学研究資料館
地球変動適応科学研究機関
共同研究シンポジウム

茨城大学地球変動適応科学研究機関と人間文化研究機構国文学研究資料館は、平成29年5月に学術交流協定を締結しました。そこで、両資料館が推進する文部科学省「日本語の歴史的典籍の国際共同研究ネットワーク構築計画」等策の一環で、「歴史資料を活用した減災・気候変動適応に向けた新たな研究分野の創成」というテーマの異分野融合型の共同研究を開始しました。本シンポジウムは両機関の共同研究のこれまでの成果を報告し、今後の展望を議論します。

平成30年
2月5日(月)
13:00-15:00 [12:30開場]

参加無料
申込不要

茨城大学図書館3階ライブラリーホール

プログラム

開会
「国文学研究資料館との共同研究とは」
小荒井 衛(茨城大学理学部 教授)

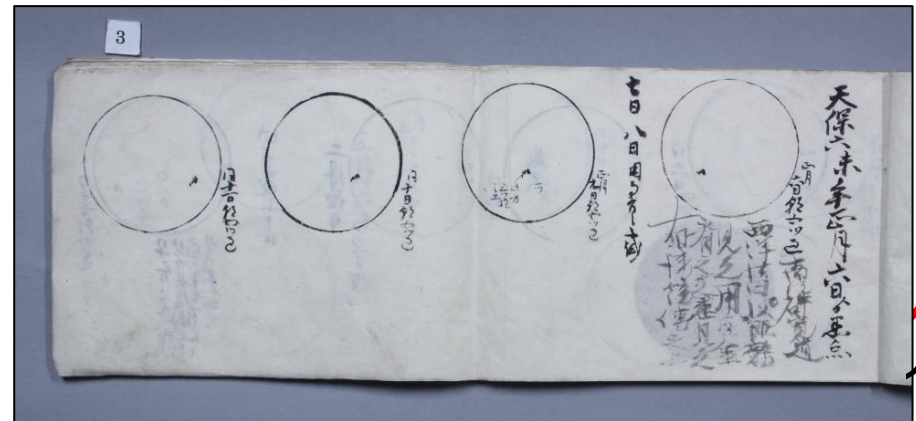
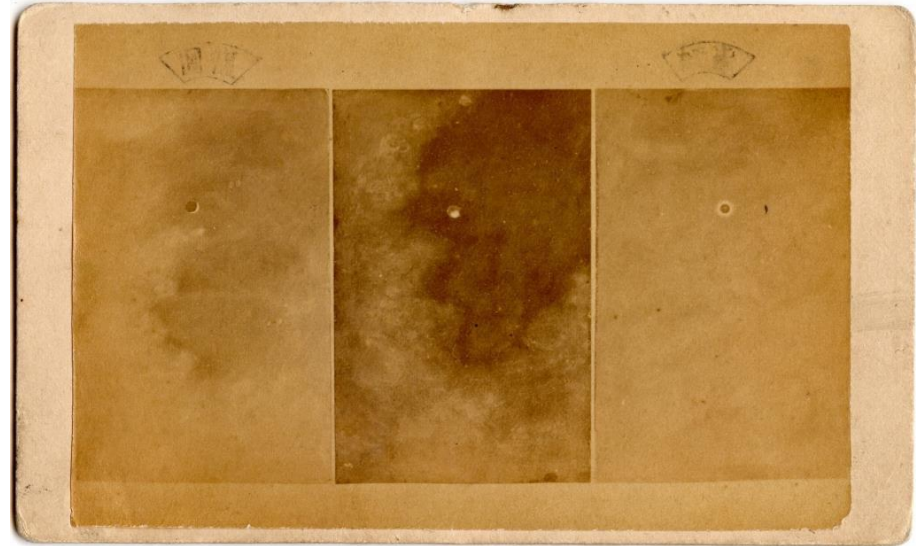
講演
「災害と絵図・明治期の統計-富士川絵図と内務省土木局河川調査書を中心に-」
小野寺 淳(茨城大学教育学部 教授)
「異分野融合研究における近世災害関係史料の可能性」
岩橋 清美(国文学研究資料館 准教授)
「茨城県内の歴史資料による科学研究への活用提案」
野澤 恵、宮崎 将(茨城大学理学部 准教授、同理学部 4年生)

小野寺 淳 岩橋 清美 野澤 恵

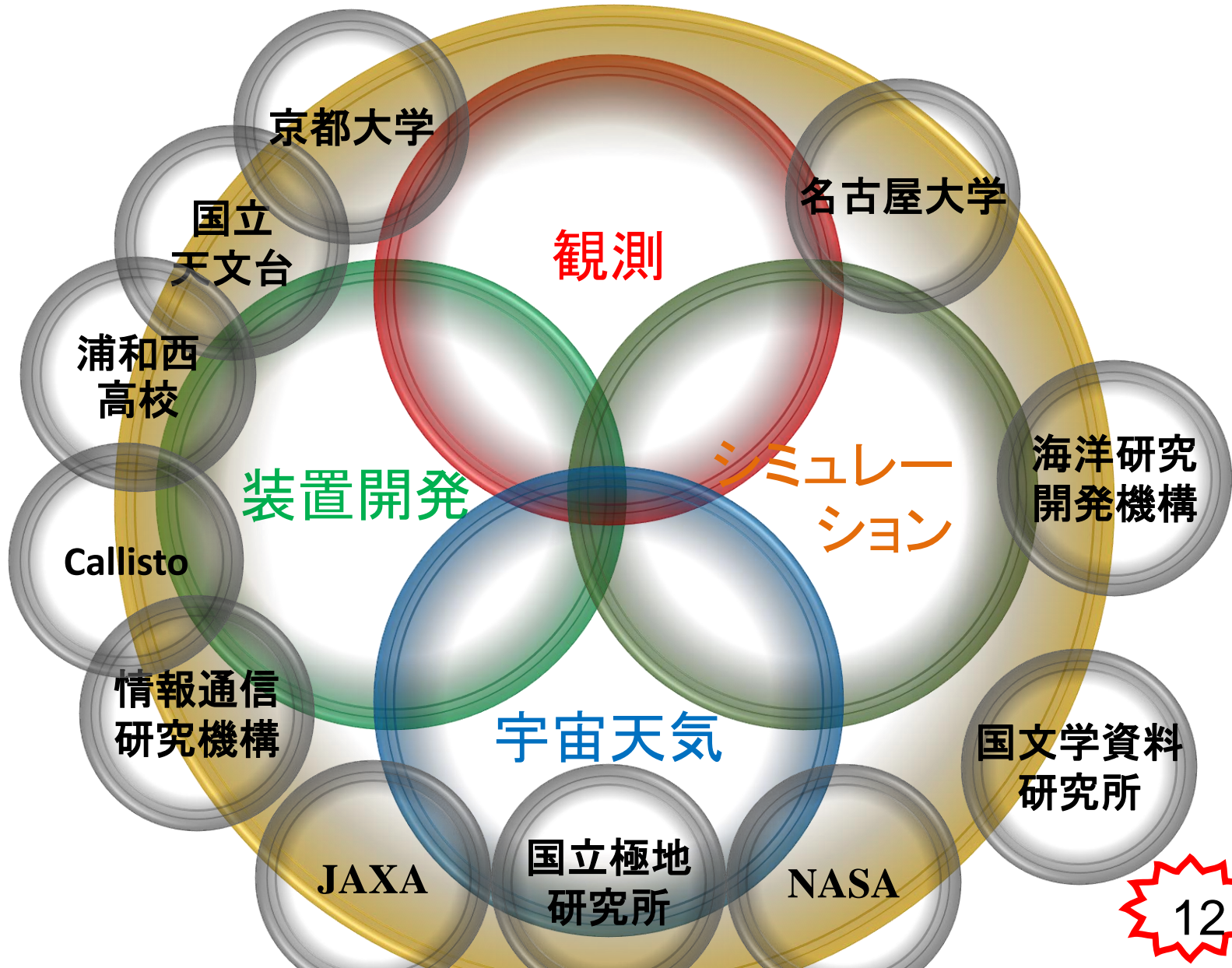
総合討論
モデレーター：添田 仁(茨城大学人文社会科学部 准教授)

●主催：茨城大学地球変動適応科学研究機関(ICAS)
人間文化研究機構国文学研究資料館
●問い合わせ先：茨城大学地球変動適応科学研究機関(ICAS)
TEL:029-228-8787 Email:icas@mmlibaraki.ac.jp

ご来場は公共交通機関をご利用ください
[茨城交通バス「茨大前」から徒歩2分]



歴代の野澤研究(太陽物理学)





宇宙技術開発株式会社
SPACE ENGINEERING DEVELOPMENT Co., Ltd.



東日本旅客鉄道株式会社 水戸支社
East Japan Railway Mito

三菱スペース・ソフトウェア株式会社

非破壊検査株式会社

NEC NECスペーステクノロジー

株式会社 日立産業制御ソリューションズ

株式会社セック
SEC Systems Engineering Consultants Co. LTD

PASCO
Surveying the Earth to Create the Future

トヨタホーム

内部進学も、外部
(明星、千葉、日大)からも

JAバンク

盛岡市子ども科学館

日本総研
The Japan Research Institute, Limited

FUJITSU



茨城県教育委員会
Ibaraki Prefectural Board of Education

富士通ソーシャルサイエンスラボトリ

U-DOM

AdvanceSoft
デジタルエンvironmentのアドバンスソフト

FUJISOFT

SIGMAKOKI
シグマ光機株式会社

TechMatrix

テクマトリックス株式会社

NTT DATA

MUFG 三菱UFJインフォメーションテクノロジー株式会社

NAVITIME

IBM®

解析方法

今回は低軌道衛星を用いて解析

条件
平均運動(mm) > 14.0
高度 1000 km以下
離心率(e) < 0.01

Two Line Element (TLE)の説明

- TLEとは、米国北アメリカ航空宇宙防衛司令部 (North American Aerospace Defense Command) が監視し公開している人工衛星を含む宇宙物体の軌道情報を2行形式で表したものである。
(参考: <http://www.celestrak.com/NORAD/documentation/tle-fmt.asp>)
- TLEは以下の形式である。

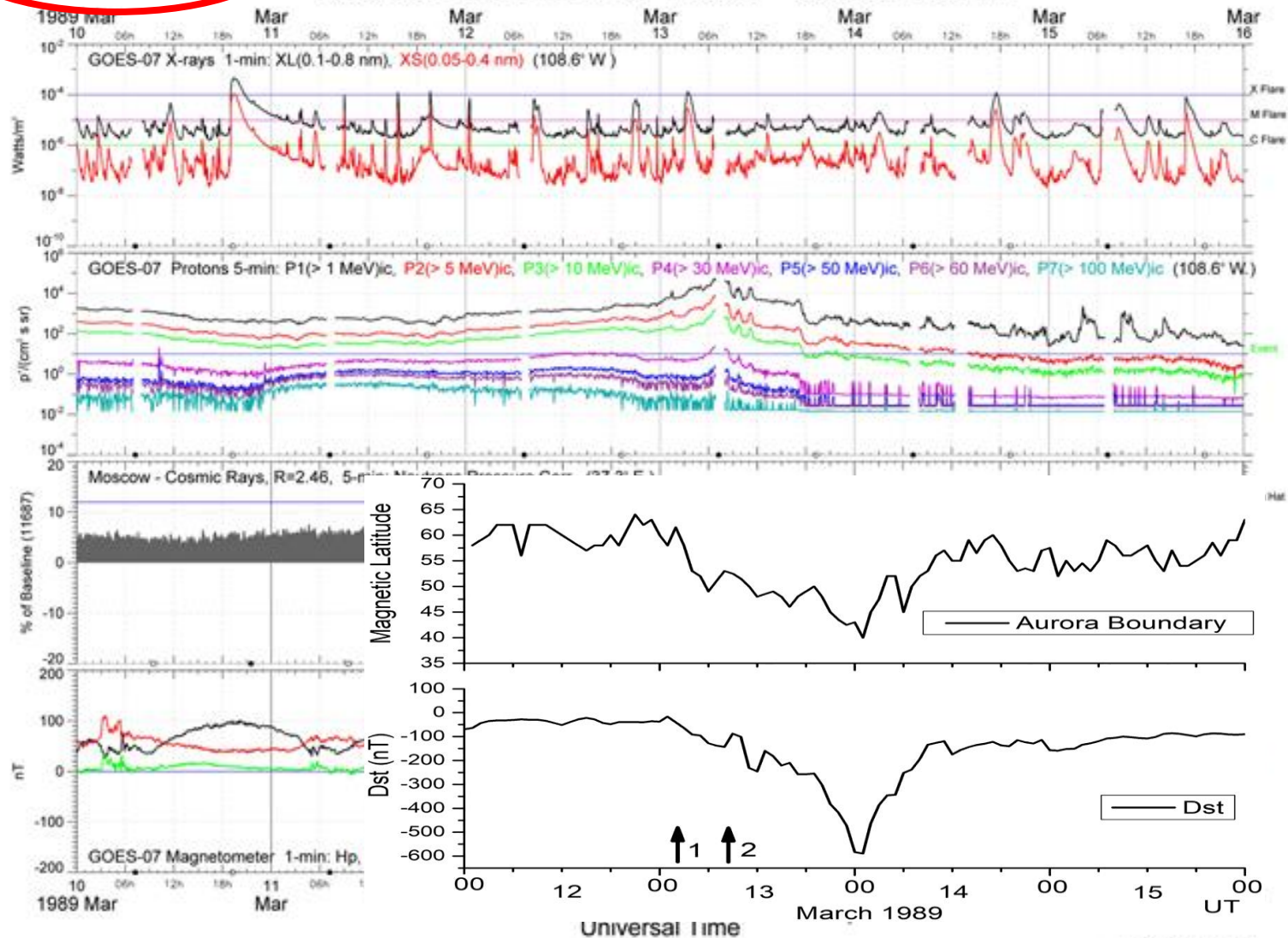
```

GCOM-W1 (SHIZUKU)
1 38337U 12025A 12194.00000000 .00000000 00000-0 17700-3 0 00659
2 38337 98.1978 133.0858 0001777 101.6799 154.624 14.57141916 8061
  
```

- (a)人工衛星の名称
- (b)行番号 (c)人工衛星番号 (d)分類(Uは分類なし) (e)国際識別番号(打上げ年の下2桁)
- (f)国際識別番号(打上げ年における打上げ数) (g)国際識別番号(piece of launch)
- (h)エポック年(西暦の下2桁) (i)エポック(年通算日+その日における00時からの経過時間)
- (j)平均運動の1次の時間微分 (k)平均運動の2次の時間微分 (l)大気抵抗係数項(小数点以下を表示)
- (m)エフェメリスタイプ (n)エレメント番号 (o)チェックサム
- (p)行番号 (q)人工衛星番号 (r)軌道傾斜角(度) (s)昇交点赤経(度)
- (t)離心率(小数点以下を表示) (u)近地点引数(度) (v)平均近点離角(度) (w)平均運動(周回数/日)
- (x)エポック時の周回数(回) (y)チェックサム

3.2. 1989年3月の磁気嵐 (宇宙天気現象) と軌道低下の相関例

Extreme Event: 1989-03-10 00h - 1989-03-15 24h



1989年3月に発生した磁気嵐を示す図。上から磁気緯度、Dst(低緯度の地磁気変動量全磁場強度)を示す。Boteler(2019)のFigure 6から引用。15

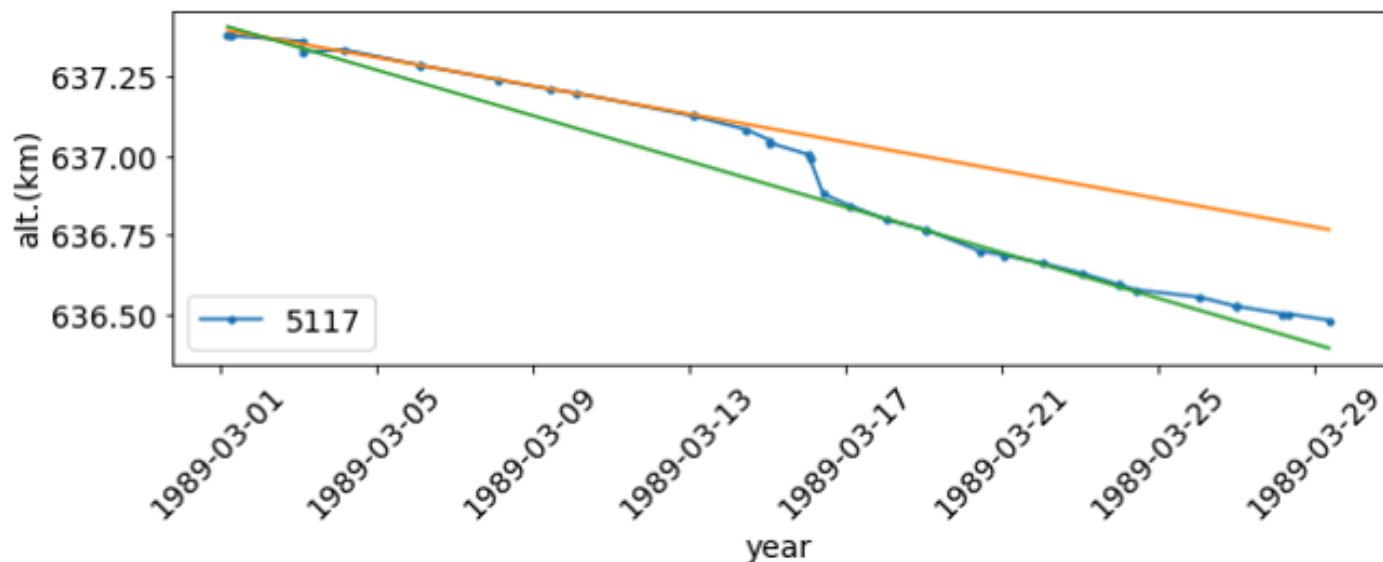


図 6 COSMOS 405 の高度(km)の 1989 年三月の時間変化図。←

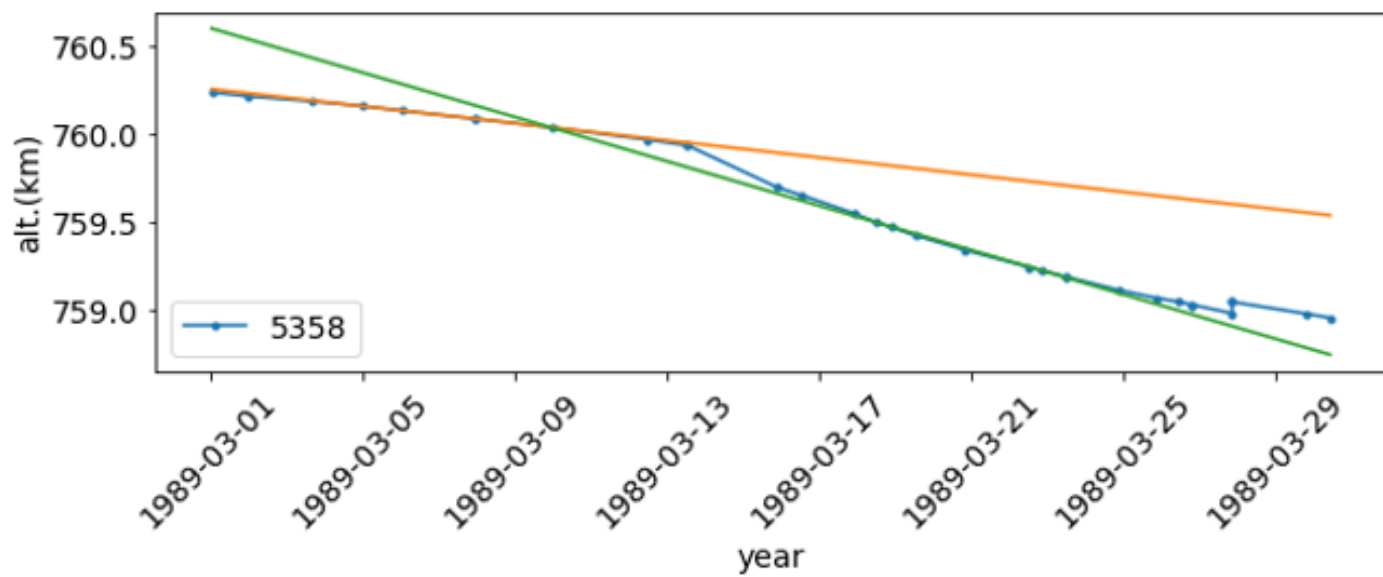
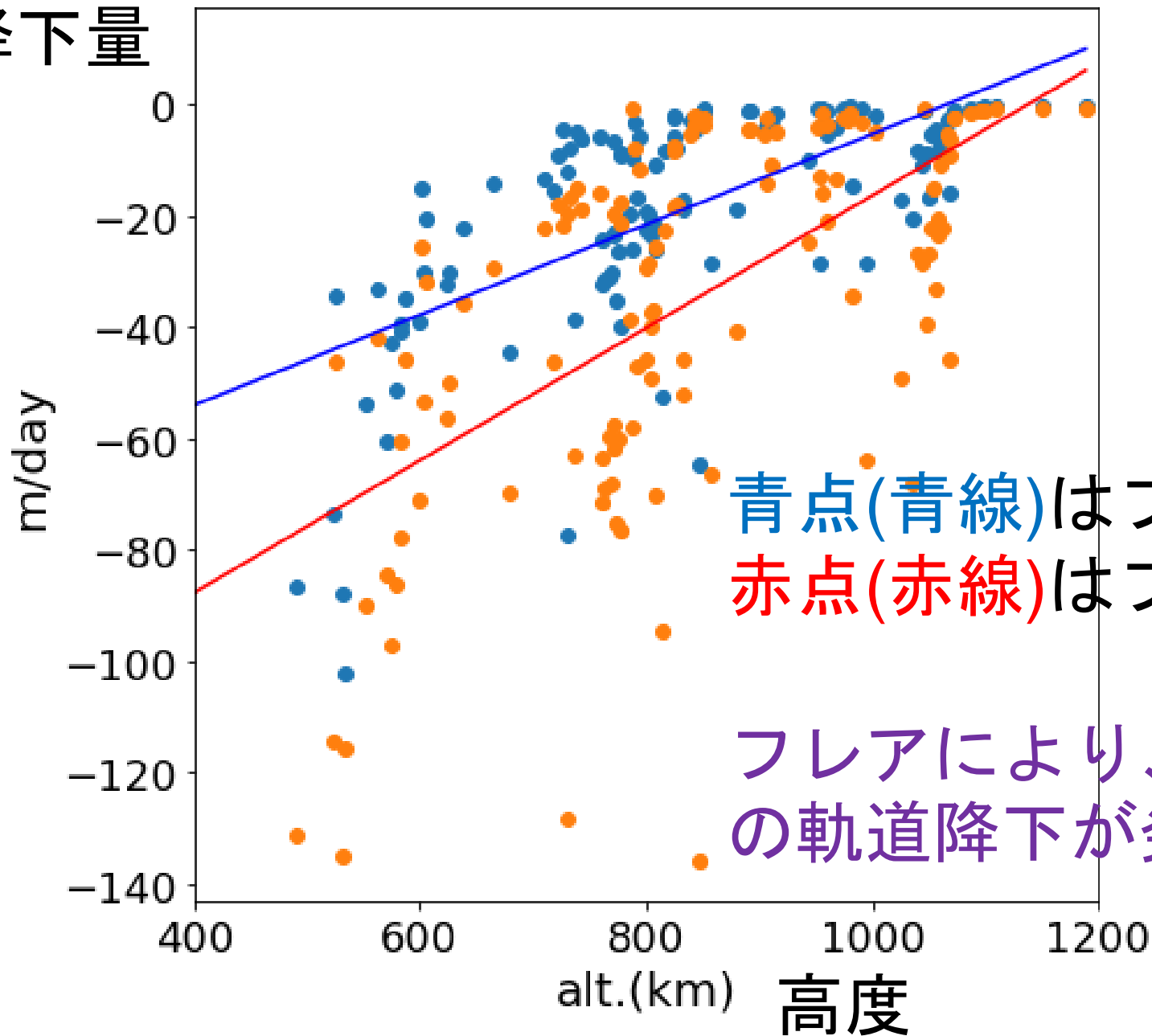


図 7 ロケット SL-8 のデブリの高度(km)の 1989 年三月の時間変化図。←

1989/03/08のX10.5フレア

降下量

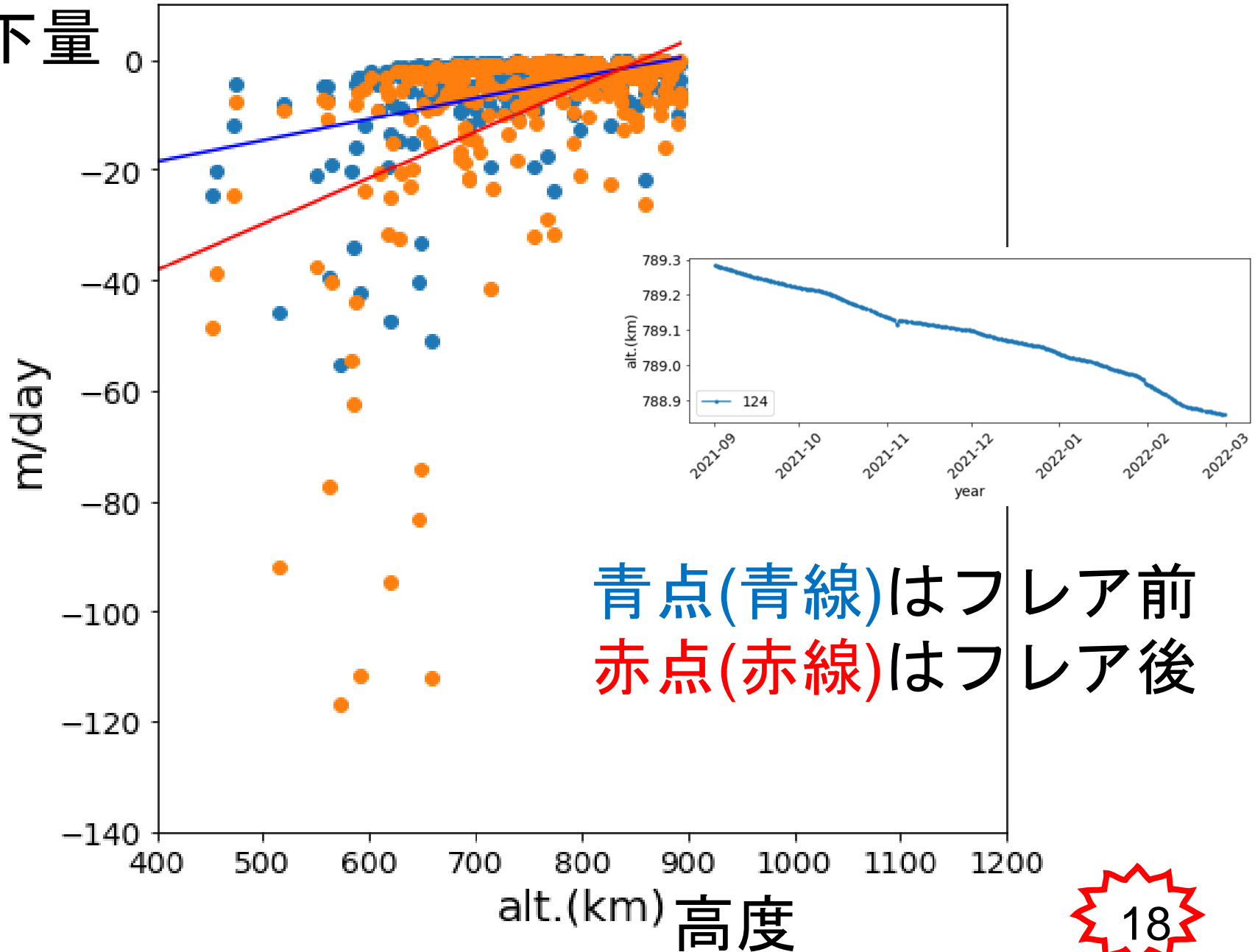


青点(青線)はフレア前
赤点(赤線)はフレア後

フレアにより、多数体の
軌道降下が発生

2021/10/28のX1.0フレア

降水量

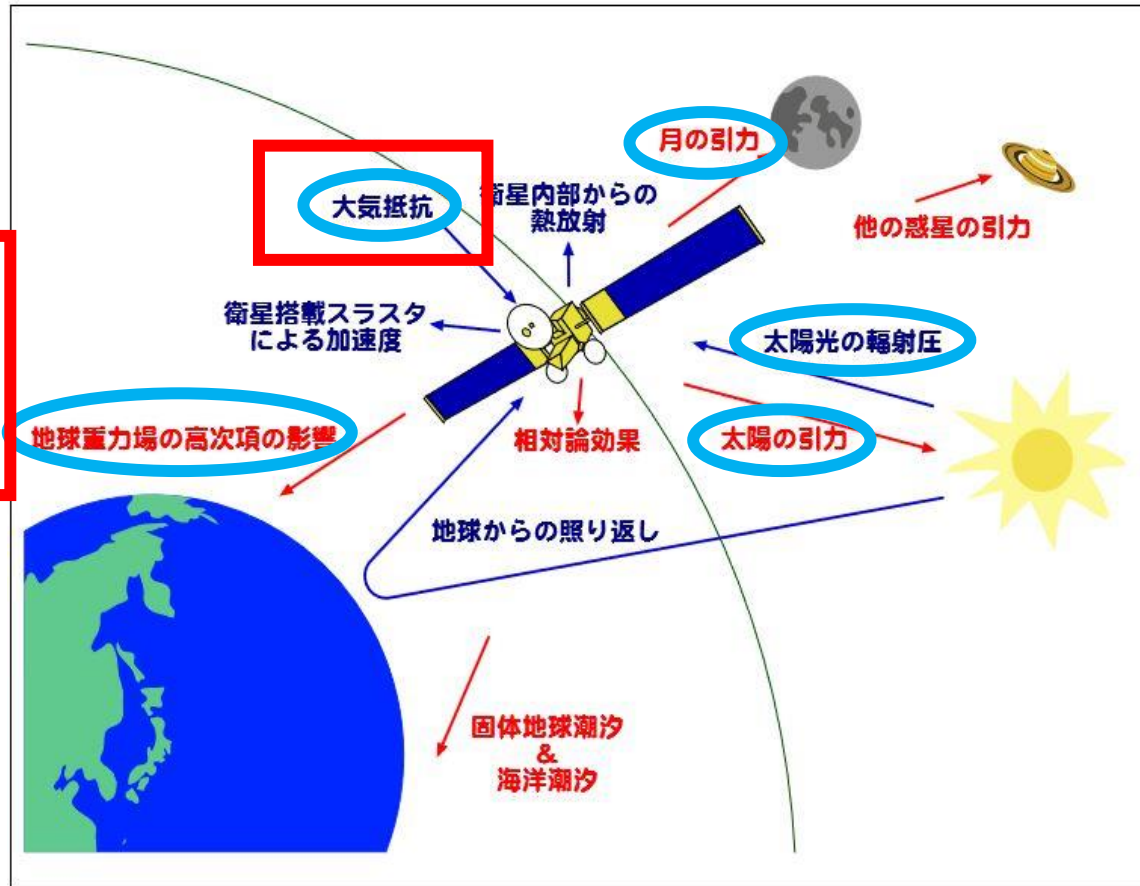


宇宙物体、人工衛星が受ける力

人工衛星の軌道は主に

- ・ 地球重力
- ・ **地球の大気抗力
(太陽紫外線の影響、
オーロラ地磁気活動)**
- ・ 月，太陽による引力
- ・ 太陽光の輻射圧

の影響を受け変動



宇宙物体に対する大気抵抗の物理量

物体に作用する大気抵抗の成分は、一般的に

$$F_i = \text{抵抗}, N \quad F_i = \frac{1}{2} \frac{\rho A C_i v^2}{m}$$

環境（高度や宇宙天気）に依存する物理量

ρ = 大気質量密度, kg/m^3

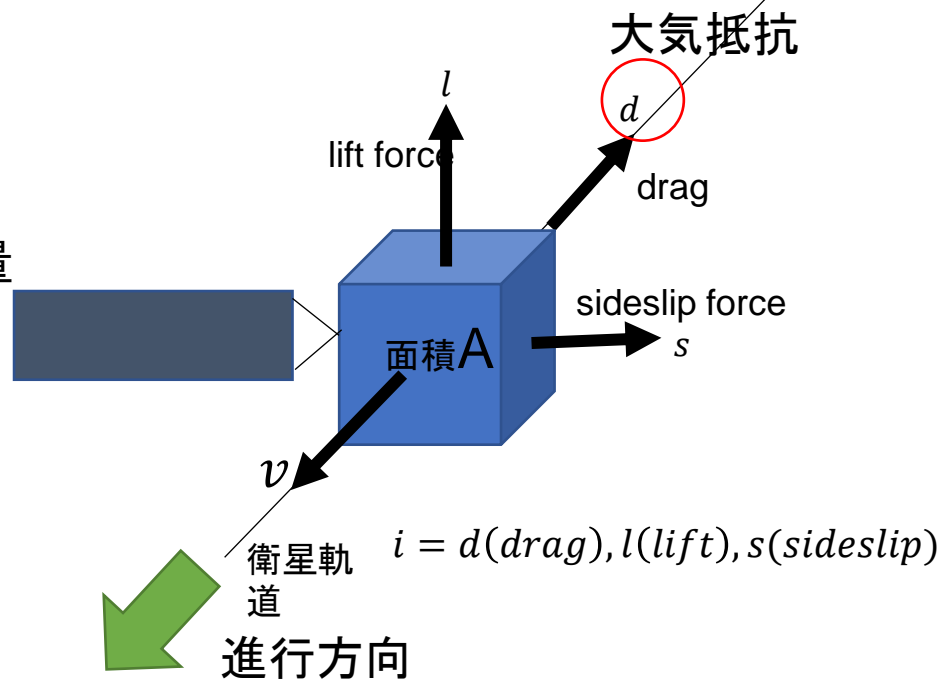
v = 物体の大気相対速度, m/s

宇宙物体の特性に依存する物理量

A = 大気に相対する面積 m^2

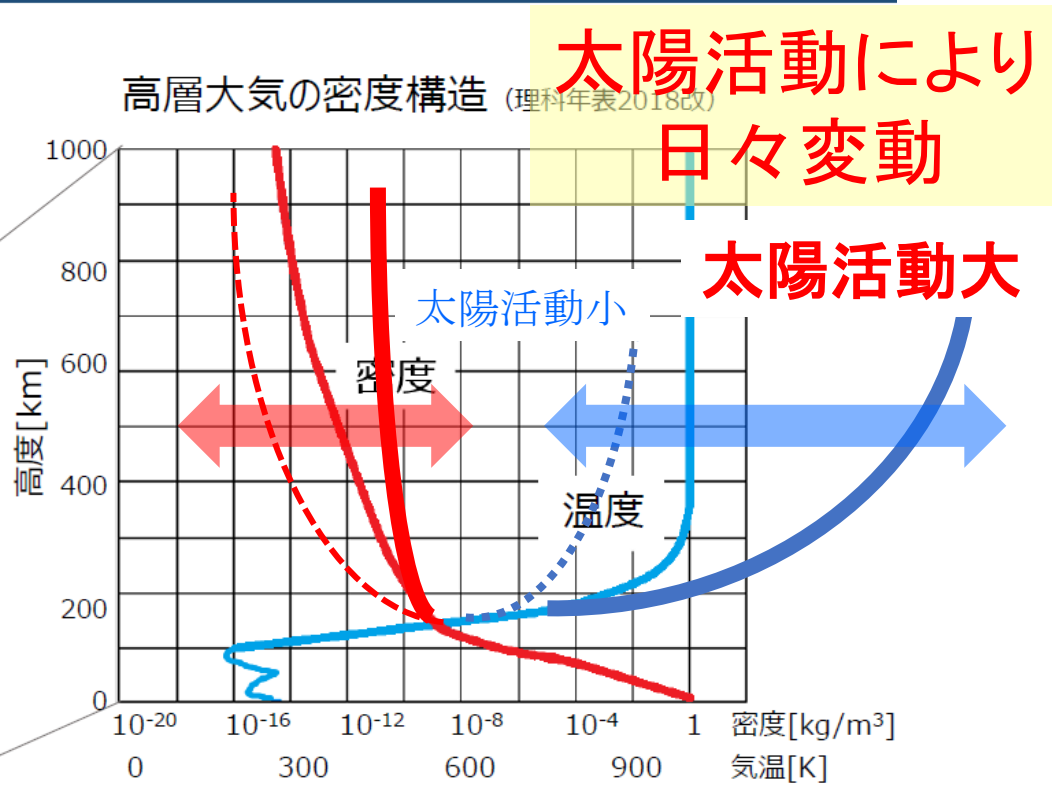
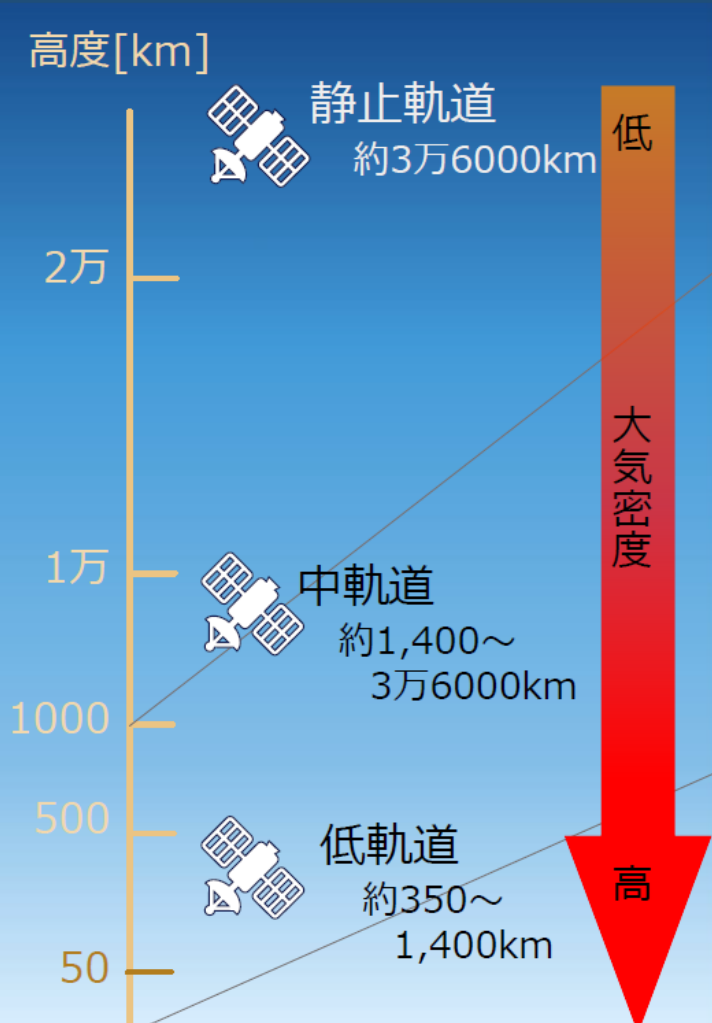
C_i = 抵抗係数, 無次元: 形状に依存

m = 物体質量, kg



宇宙天気現象(太陽活動)の影響を調べる

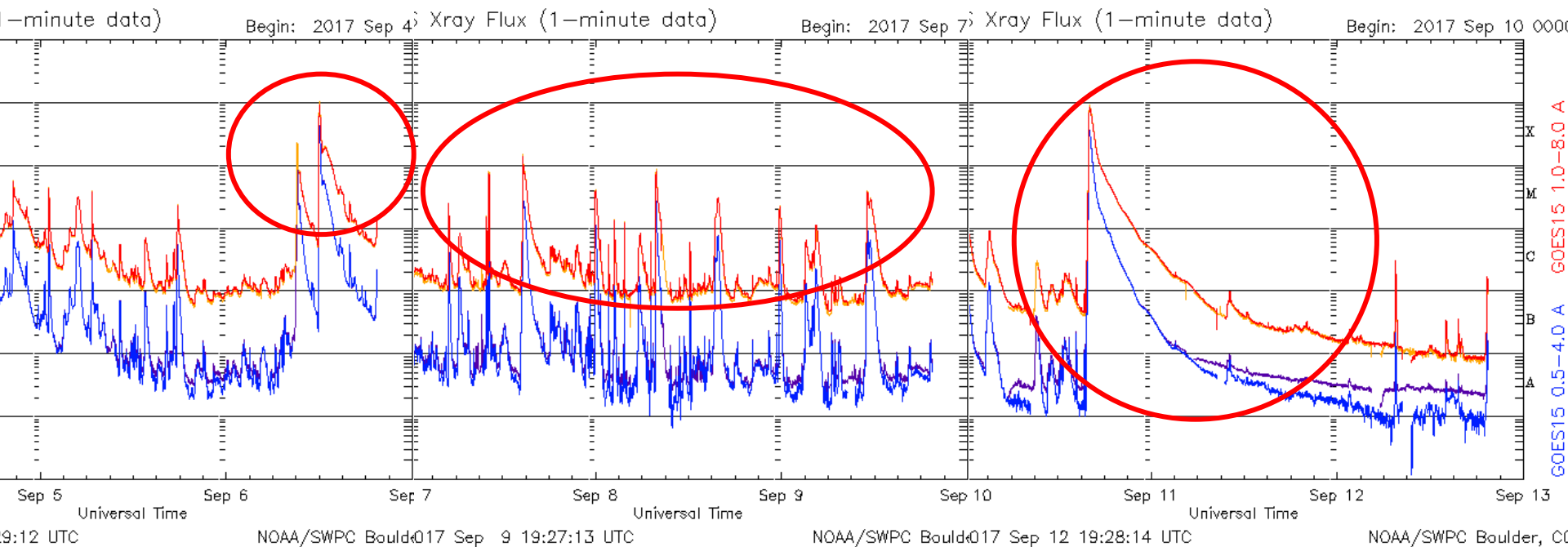
人工衛星の置かれている宇宙環境



大気は地上数千kmまでに及んでおり、高度が低いほど密度が高い

GOES衛星のX線フラックス [2017/09/04 – 09/12]

太陽からのX線はフレアの規模を示す



大フレアが何回も発生

11年ぶり、最強クラスの太陽フレアが発生

BI 63 ツイート いいね! 5,008 G+ Pocket 48

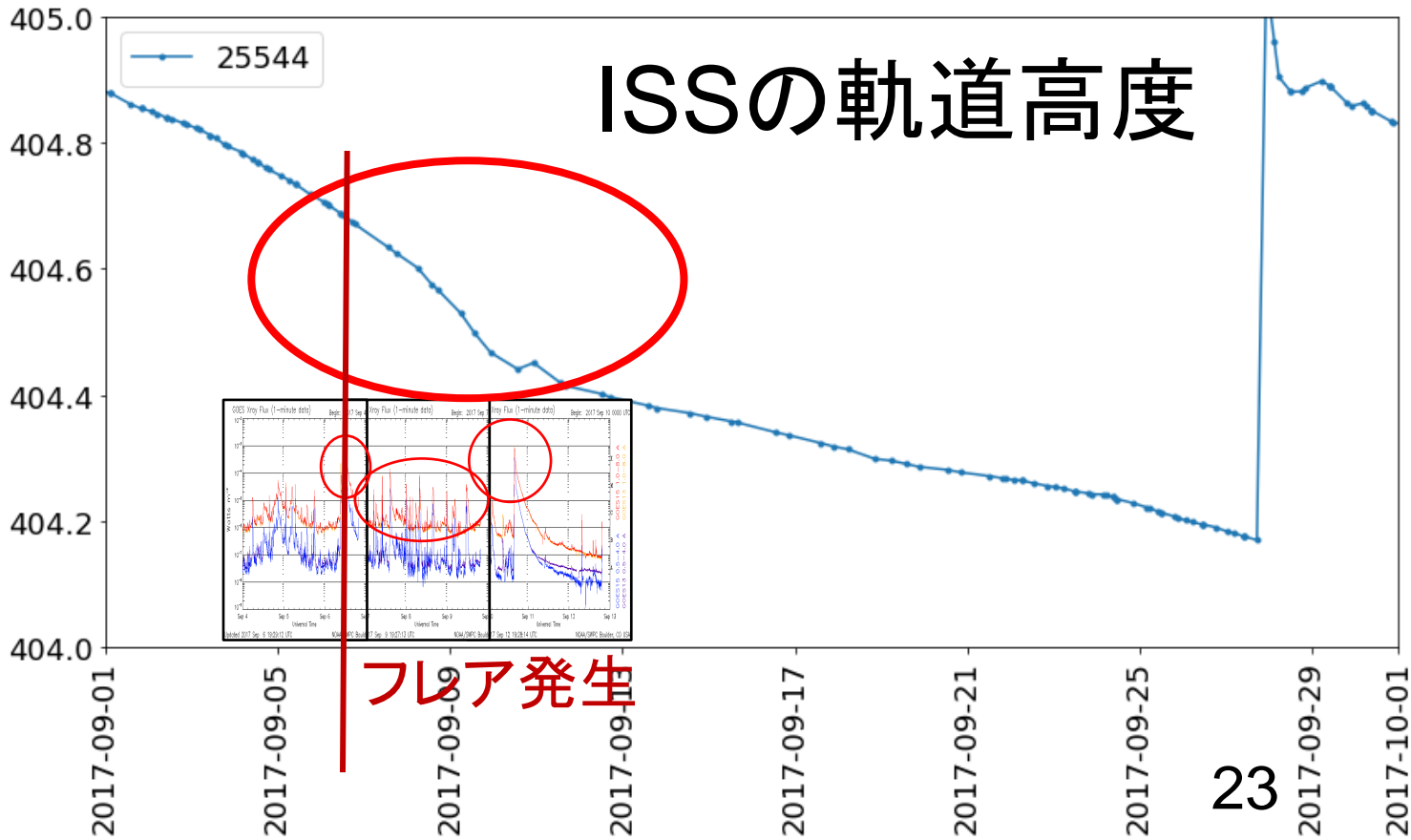
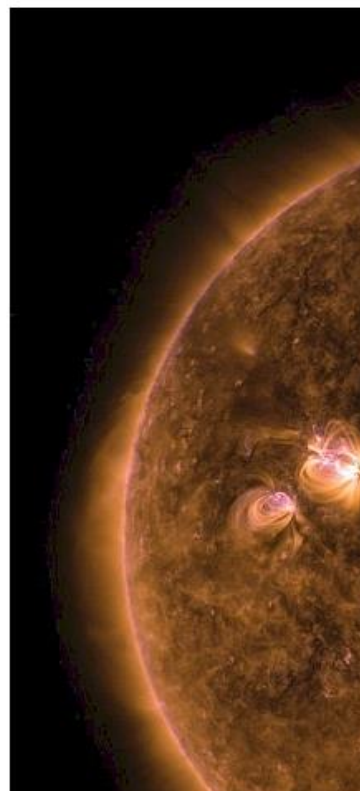
2017/09/06 X2.2

日本時間9月6日、大規模な太陽フレアが2度にわたり発生した。とくに21時ごろのフレアは11年ぶりとなる最強クラスのフレアで、この現象に伴う太陽風の乱れが8日の夜ごろ地球に到来すると予測されている。

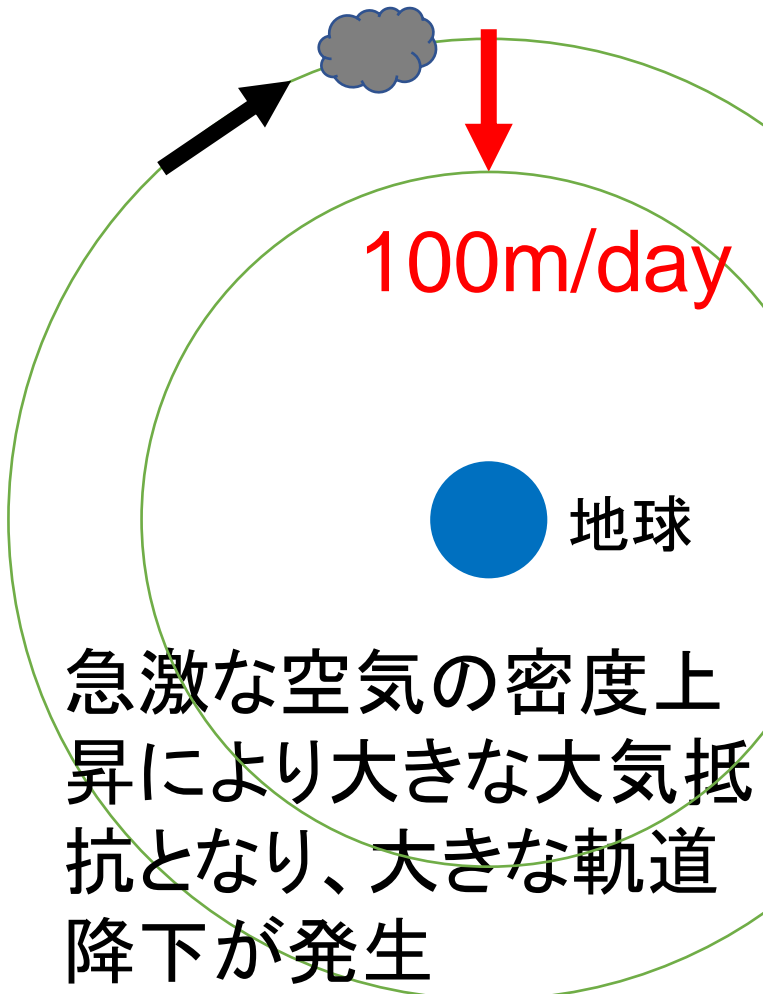
【2017年9月7日 NASA/宇宙天気ニュース/情報通信研究機構】

9月6日18時ごろ（日本時間、以下同）、太陽表面の南西の活動領域（黒点群）2673で大規模フレアが発生した。太陽フレアの強度はピーク時のX線強度によって弱い方からA、B、C、M、Xに分類されるが、このフレアの強度はX2.2で、2015年5月5日以来2年4か月ぶりのXクラスのフレアだった。

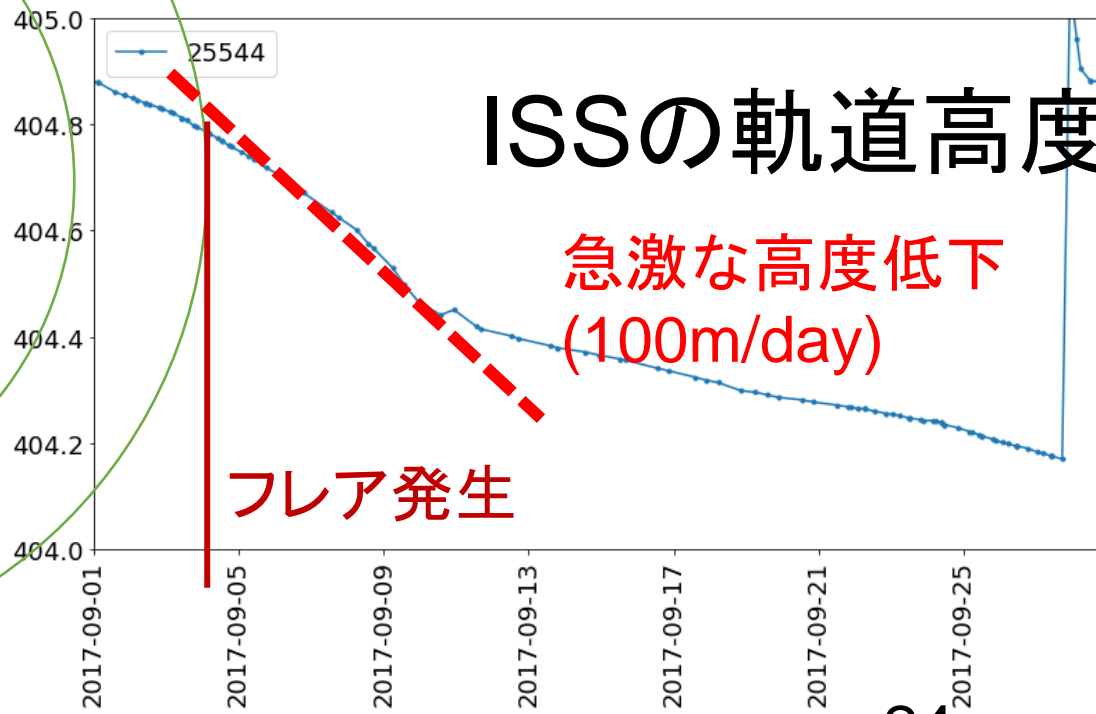
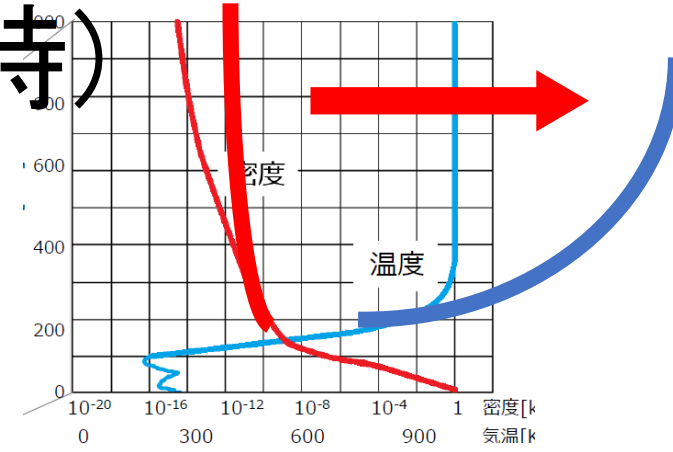
さらに同夜21時ごろ、同領域
フレア強度が9以上に達したのは



軌道降下(太陽フレア時)

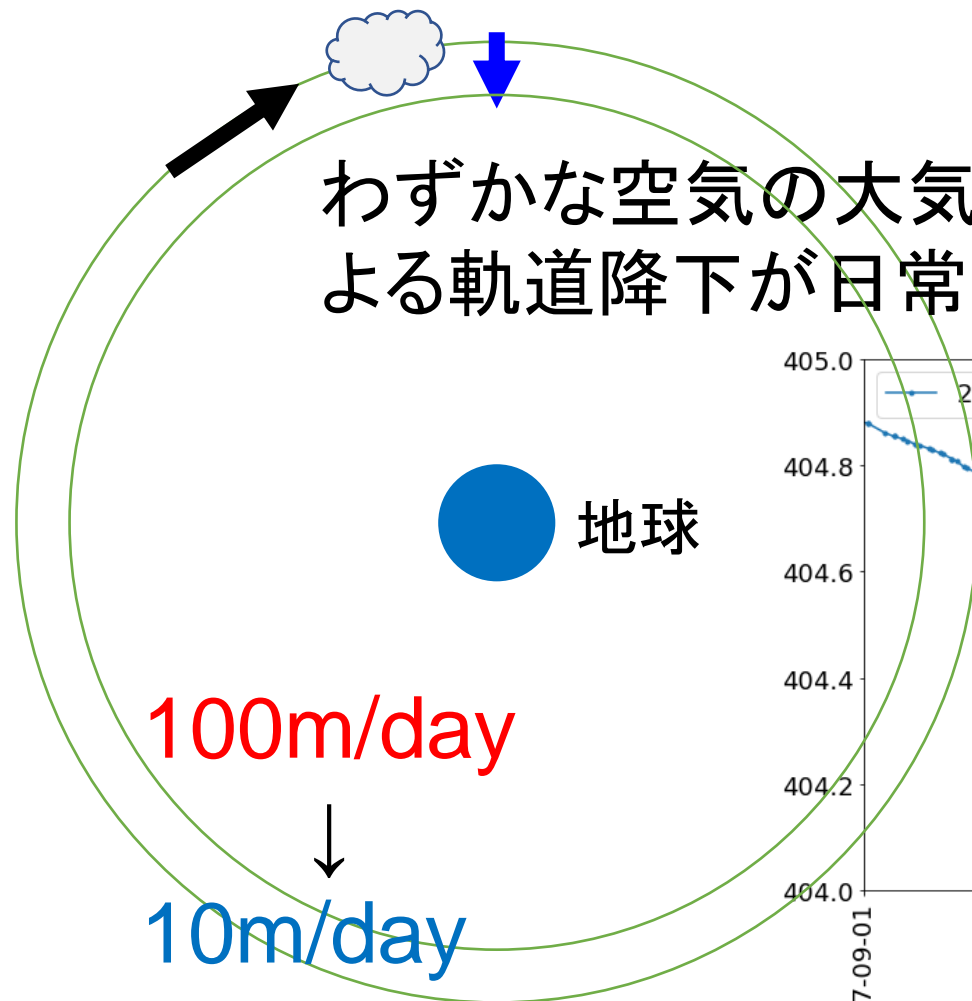


高層大気の密度構造 (理科年表2018改)

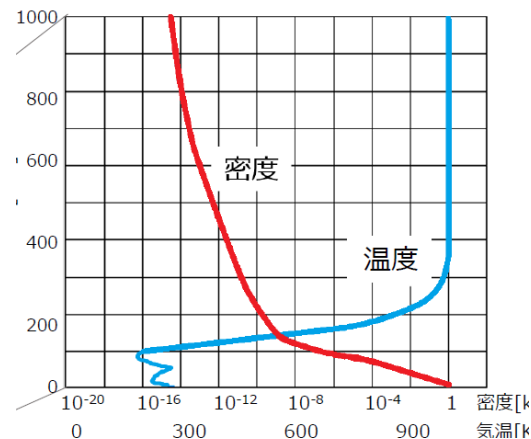


軌道降下(通常時)

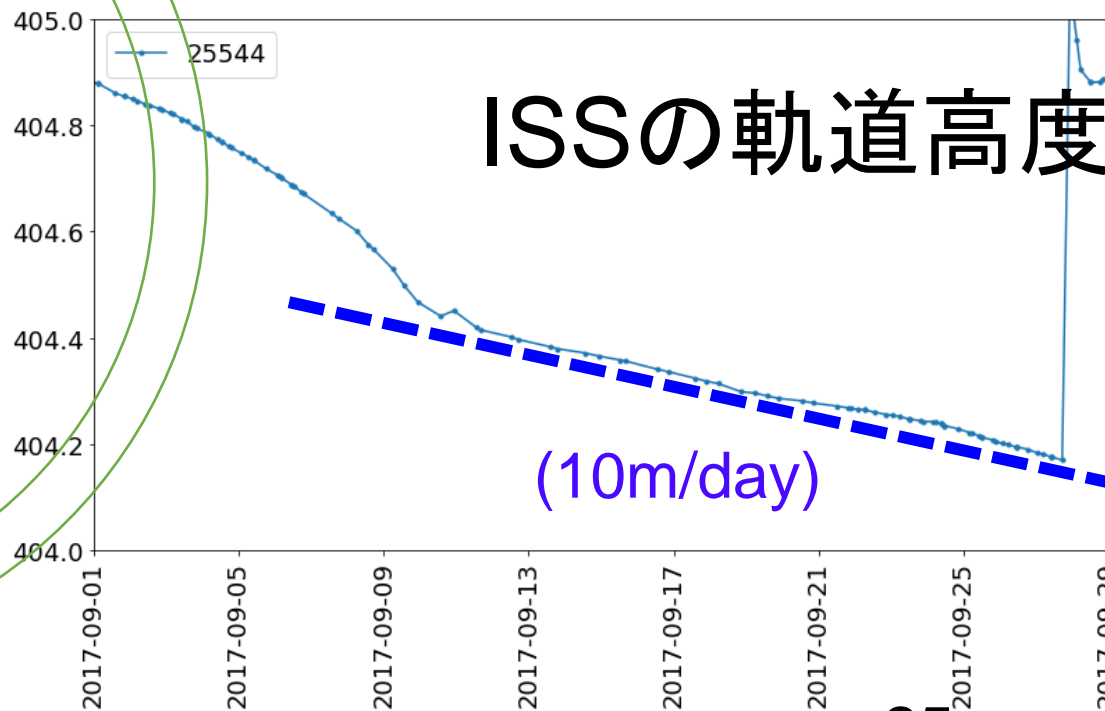
わずかな空気の大气抵抗による軌道降下が日常的に発生



高層大気の密度構造 (理科年表2018改)



ISSの軌道高度



11年ぶり、最強クラスの太陽フレアが発生

BI 63 ツイート いいね! 5,008 G+ Pocket 48

2017/09/06 X2.2

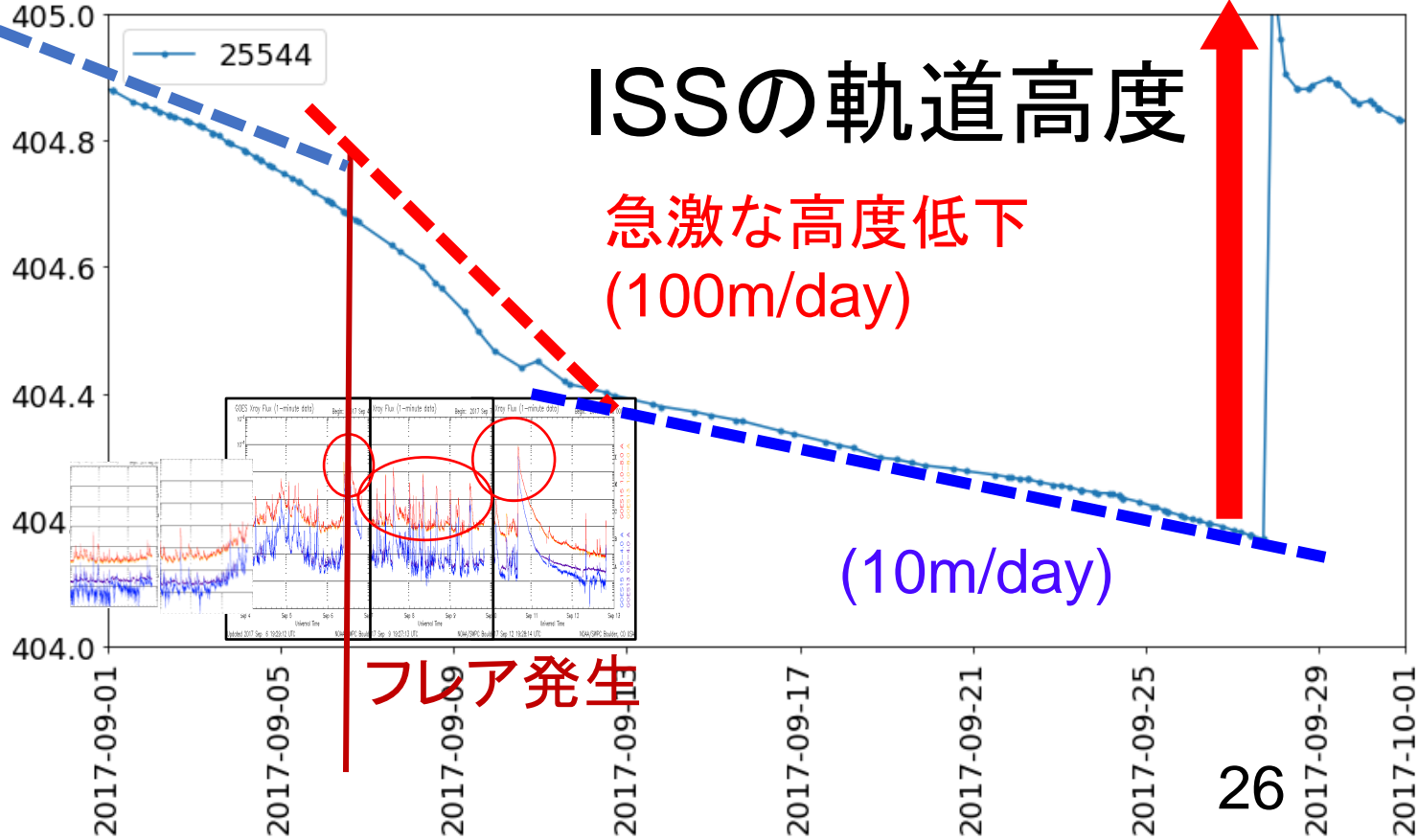
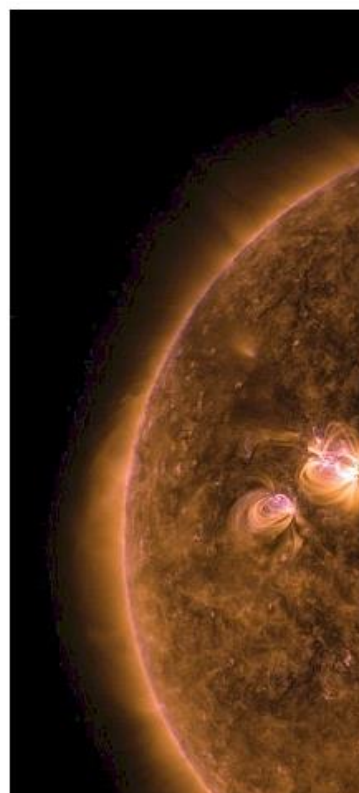
日本時間9月6日、大規模な太陽フレアが2度にわたり発生した。とくに21時ごろのフレアは11年ぶりとなる最強クラスのフレアで、この現象に伴う太陽風の乱れが8日の夜ごろ地球に到来すると予測されている。

【2017年9月7日 NASA/宇宙天気ニュース/情報通信研究機構】

9月6日18時ごろ（日本時間、以下同）、太陽表面の南西の活動領域（黒点群）2673で大規模フレアが発生した。太陽フレアの強度はピーク時のX線強度によって弱い方からA、B、C、M、Xに分類されるが、このフレアの強度はX2.2で、2015年5月5日以来2年4か月ぶりのXクラスのフレアだった。

2017/09/27 reboost
持ち上げ実施

さらに同夜21時ごろ、同領域
フレア強度が9以上に達したのは



ISSのreboostした文章を見つけよう

ヒントは、

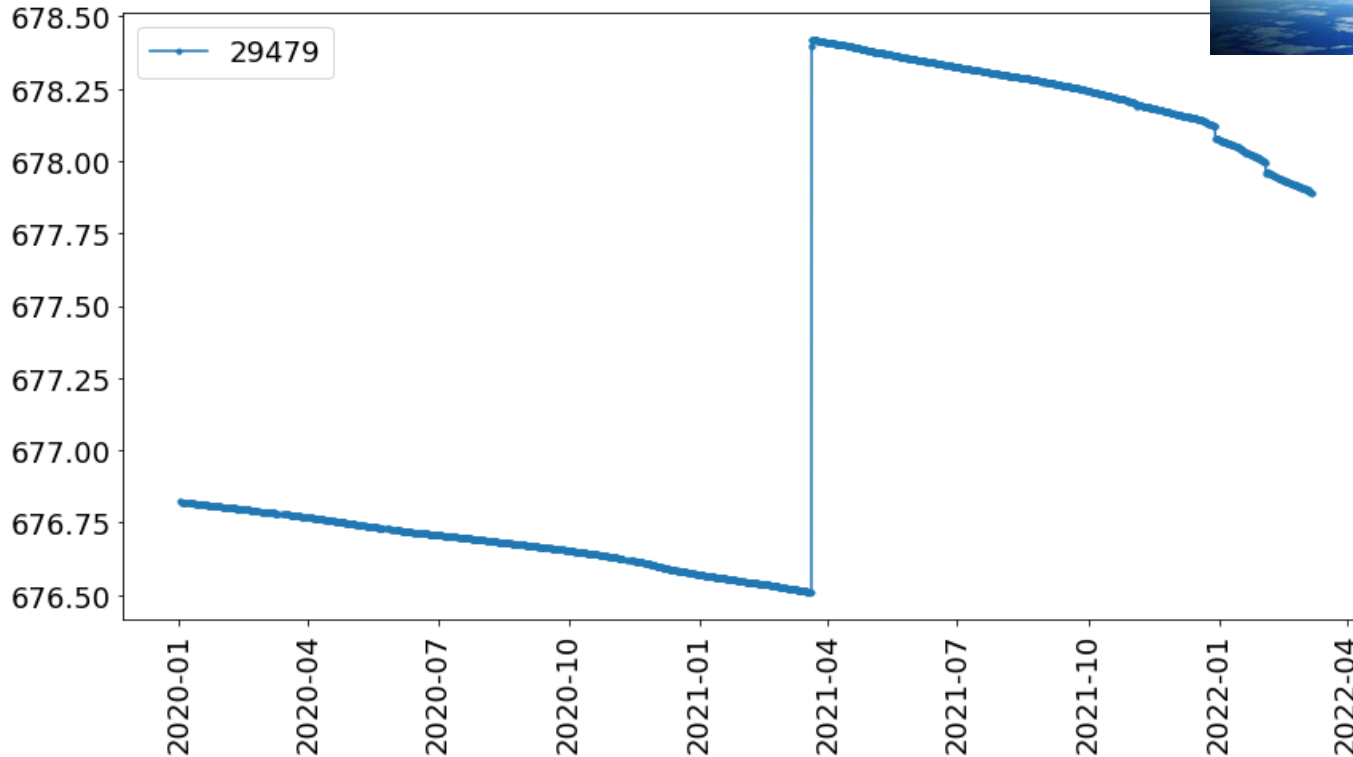
ISS reboost 2017 [9月英語で] 27

で検索してみよう

<https://blogs.nasa.gov/stationreport/2017/09/27/>

次は「2021/03/20 hinode」で

太陽観測衛星「ひので」の軌道変化



IMPORTANT ### (Update: 12:20 JST, 20 Mar.)

We decided to go ahead with the **DAM operation** in the afternoon. Observations will be stopped in the first pass, at around 3:35 UT. Observations may be resumed from next Tuesday (23 Mar.) evening but it may change depending on the **DAM** situation.

DAM? = **Debris-Avoidance Maneuver**(衝突回避)

美星スペースガードセンターで取得したデータを利用した研究を実施しませんか



応募方法

- ・JAXA軌道チームへ研究企画書をメール連絡(連絡先 JAXA軌道、SGC_DATA_KOUBO@ml.jaxa.jp)
指定の様式はありません。A4用紙2枚程度に背景、目的、想定する期間(観測時間)、研究参加者と役割、美星スペースガードセンターデータを使う事で期待される成果、を記述ください。
その後、Web打合せを実施し、詳細を議論します。

テーマ: 理工学分野へ資する範囲内で自由です。JAXAは新しい発想を期待しています。

応募締切: 2022年4月28日(木)

(但し、応募者多数の場合は上記の締切を待たずに募集を終了します)

美星スペースガードセンター(BSGC)の特徴: 詳細は打合せで説明

- ・BSGCの1m望遠鏡、50cm望遠鏡の概略は3ページ目
- ・多色測光、光度変動観測可能です。
- ・提供するデータ形式は写真(FITS形式)または研究対象物体の座標値(RA,DEC)を想定します。

特記事項

- ・BSGCで取得したデータをFTPサーバ経由またはメール添付で提供するものです。
応募を採用された方がBSGCで直接観測するものではありません。
- ・BSGCデータは無償で提供します。
- ・観測のための準備でBSGCで作業を行う場合、BSGCに特殊治具、センサーを設置する事は電源容量等の物理的条件が可能な範囲で許容しますが、費用(BSGCまでの出張費含む)は応募者側が負担ください。
- ・コミュニケーションは原則として日本語とします。



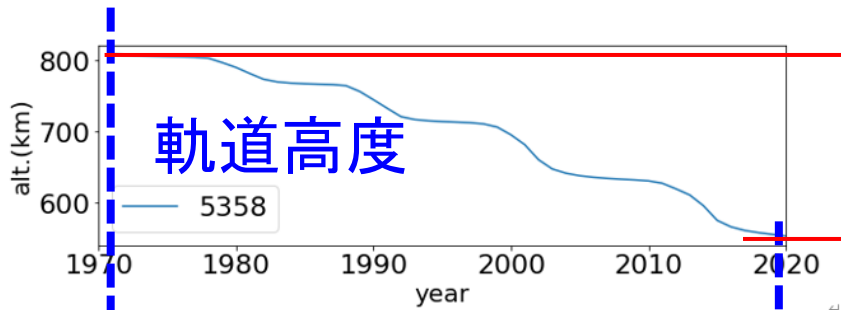


図2 ロケット SL-8 のデブリの高度(km)の時間変化図。

$(800-550)\text{km}/(50 \times 365)\text{day} \sim 13.6 \text{ m/day}$

157個の宇宙物体の
50年間の軌道降下率

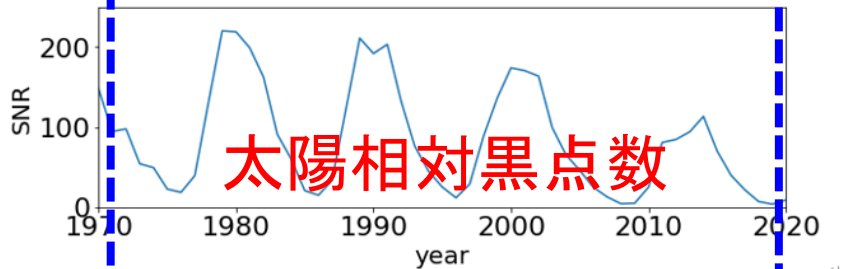
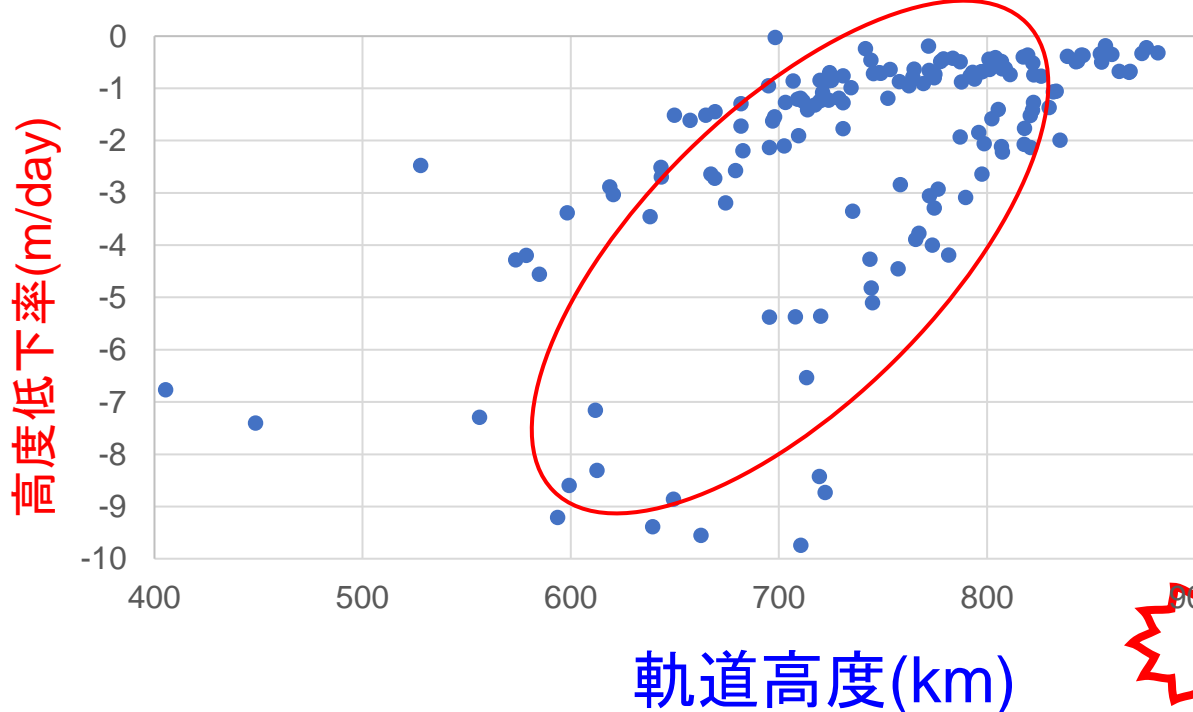


図3 太陽相対黒点数の時間変化図。

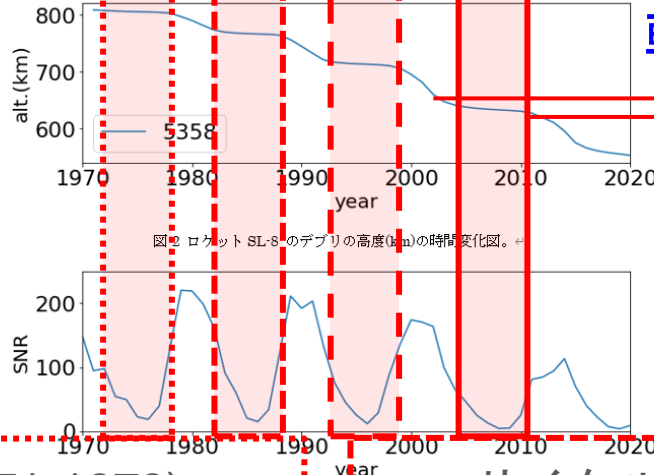
軌道高度と高い相関
大気密度の反映

全期間(1971-2021)



30

各周期の極小期の軌道低下率



軌道高度

$(645-630)\text{km}/(9*365)\text{day}$
 $\sim 4.6 \text{ m/day}$

太陽相対黒点数

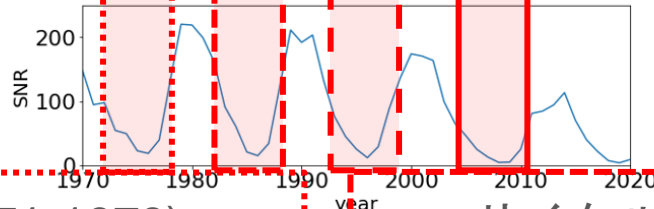
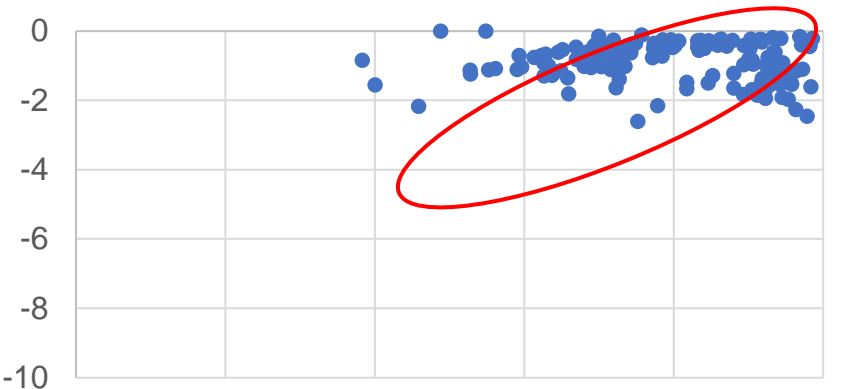


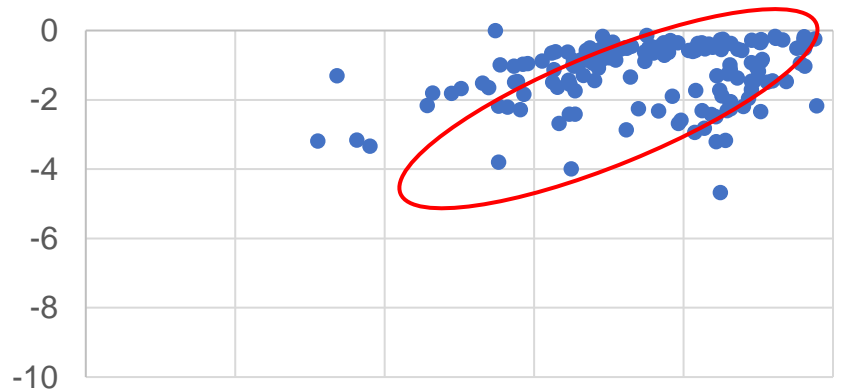
図2 ロケット SL-8 のデブリの高度 (km) の時間変化図。

図3 太陽相対黒点数の時間変化図。

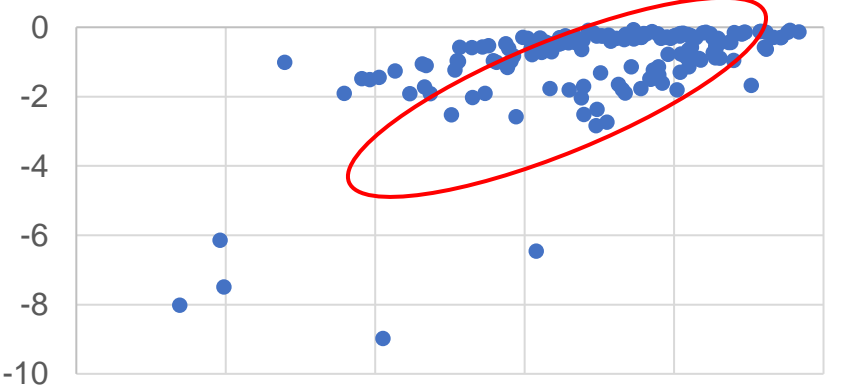
サイクル20極小期(1971-1979)



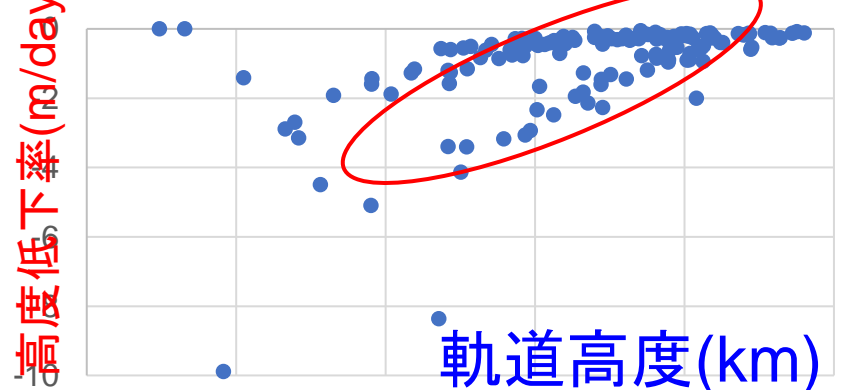
サイクル21極小期(1983-1989)



サイクル22極小期(1993-1999)



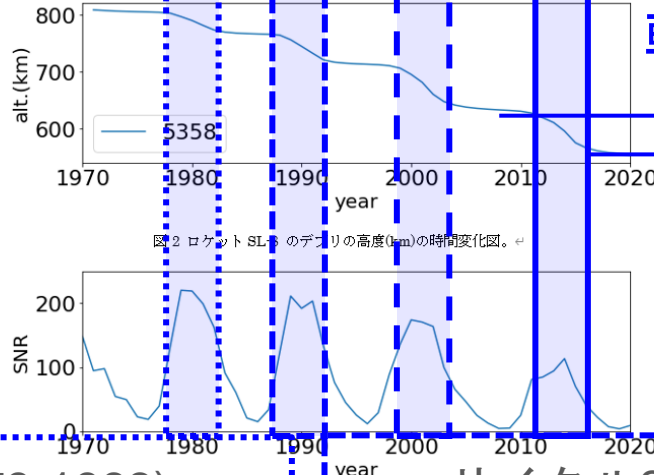
サイクル23極小期(2004-2013)



軌道低下率 (m/day)

軌道高度 (km)

各周期の極大期の軌道低下率

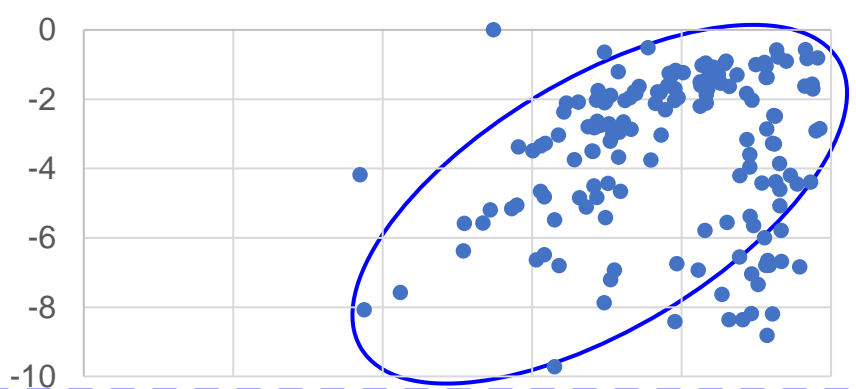


軌道高度

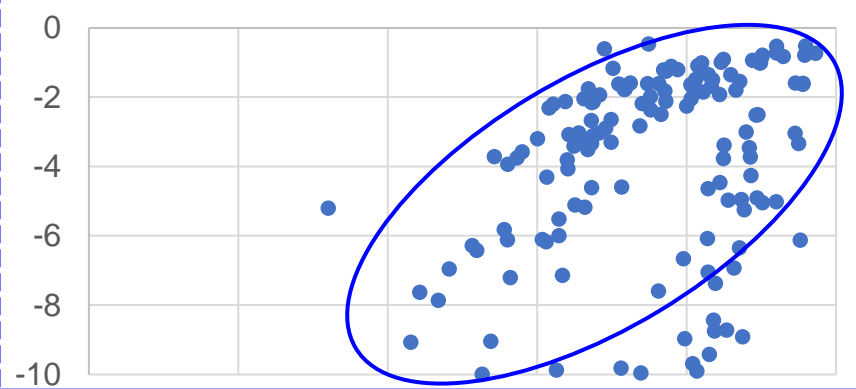
$(630-570)\text{km}/(4*365)\text{day}$
 $\sim 41.1 \text{ m/day}$

太陽相対黒点数

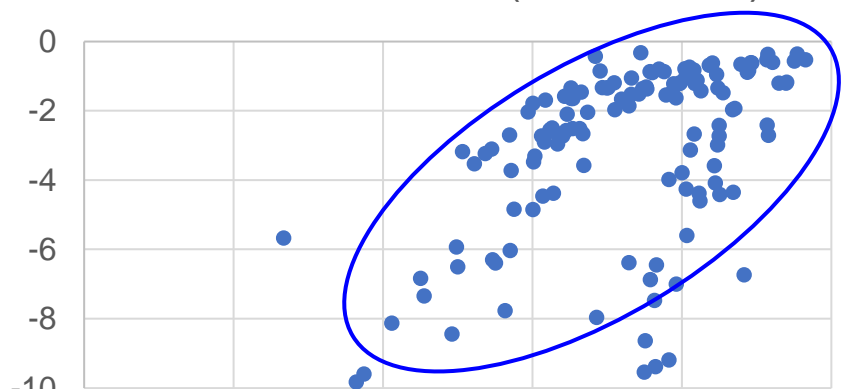
サイクル21極大期(1979-1983)



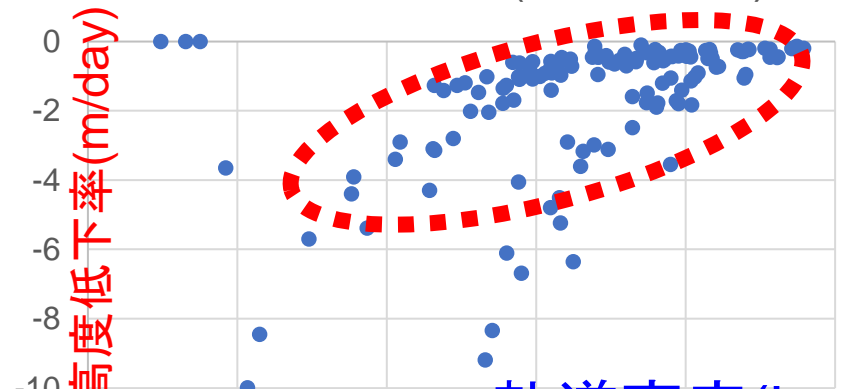
サイクル22極大期(1989-1993)



サイクル23極大期(1999-2004)



サイクル24極大期(2013-2017)



高度低下率(m/day)

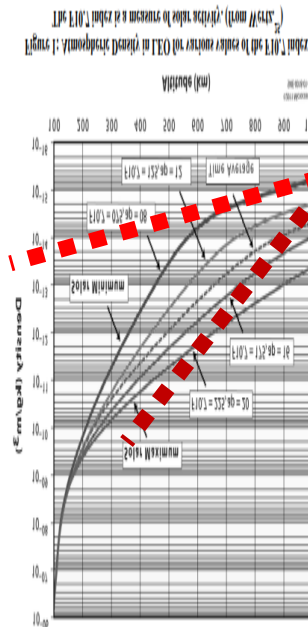
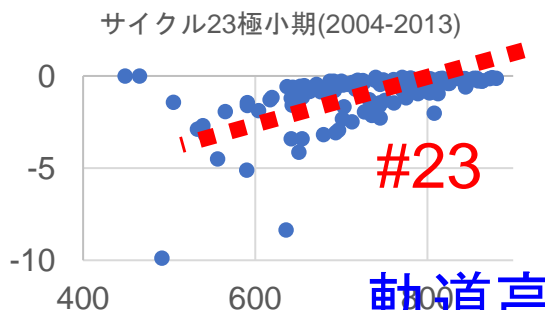
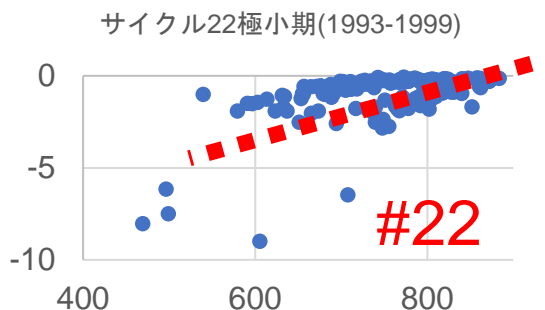
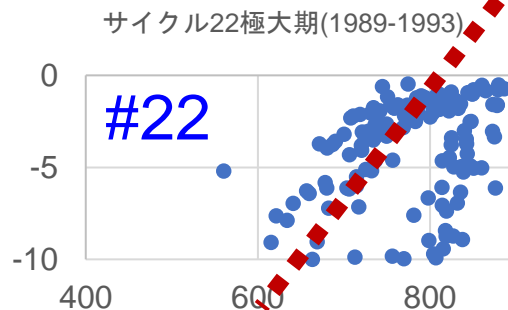
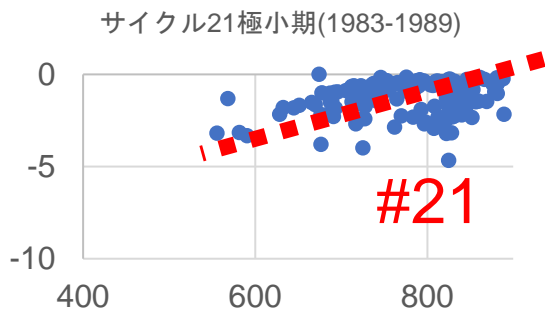
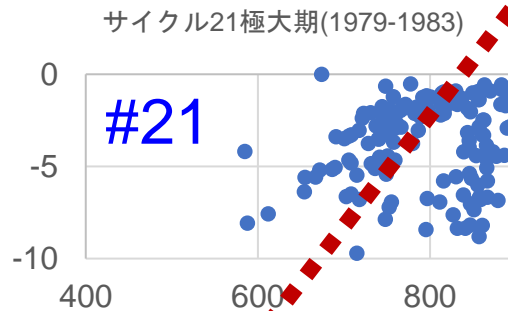
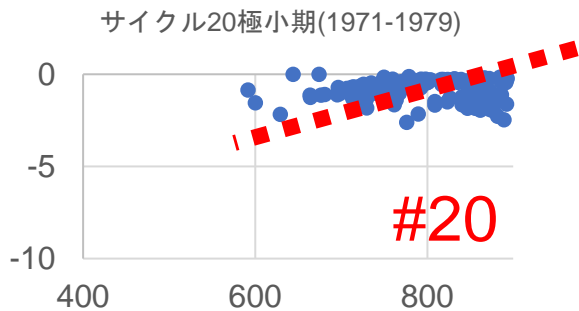
軌道高度(km)

図3 太陽相対黒点数の時間変化図。

極小期

極大期

高度低下率 (m/day)



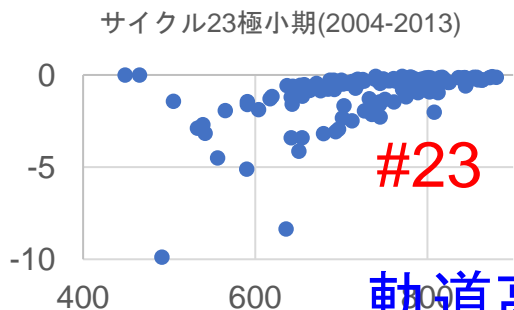
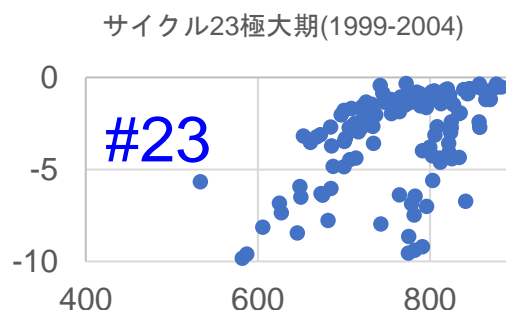
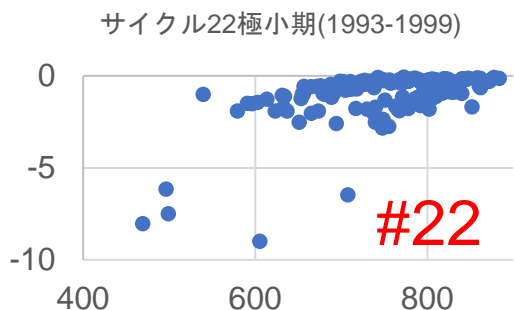
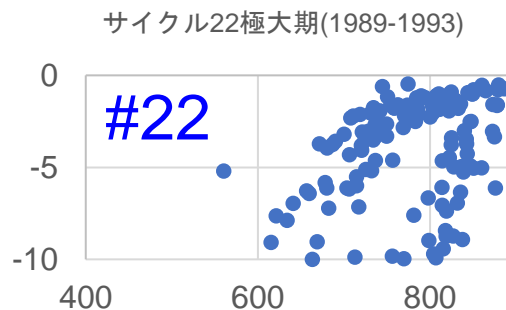
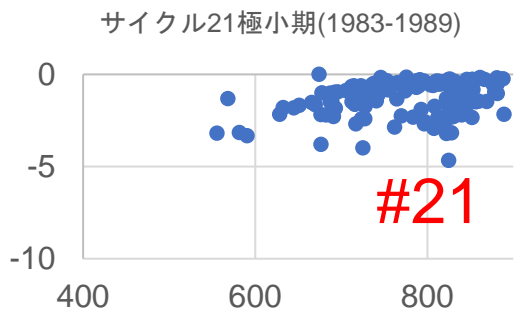
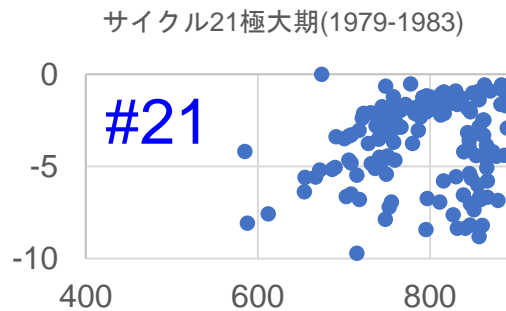
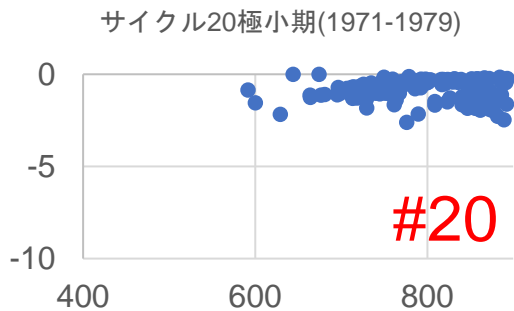
#24の低い太陽活動を反映

軌道高度 (km)

極小期

極大期

高度低下率(m/day)

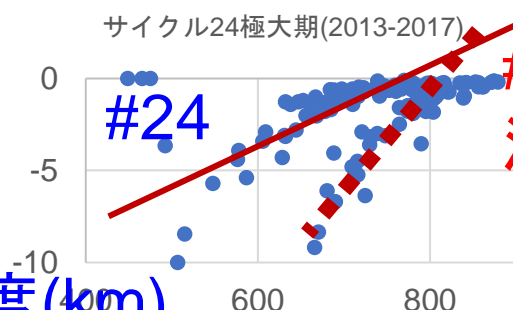
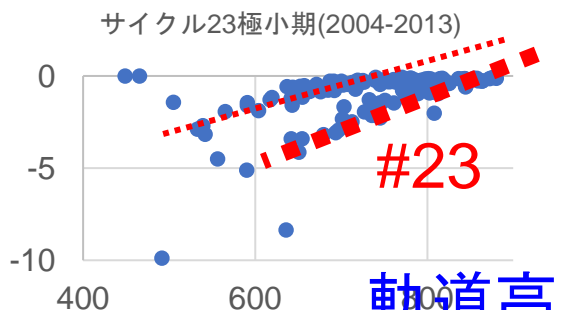
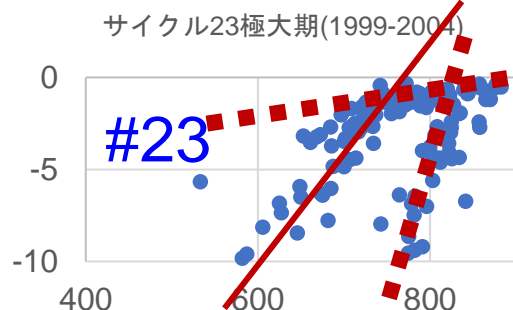
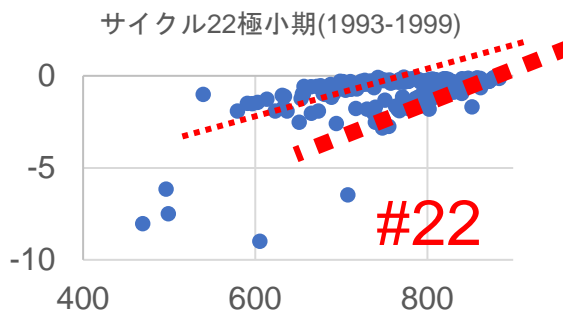
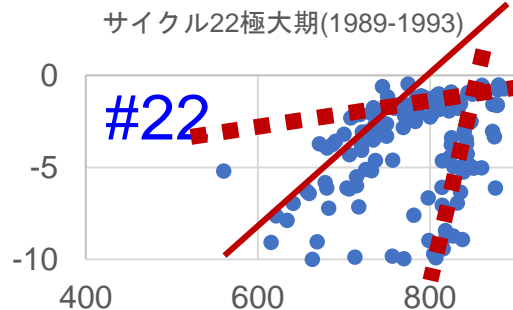
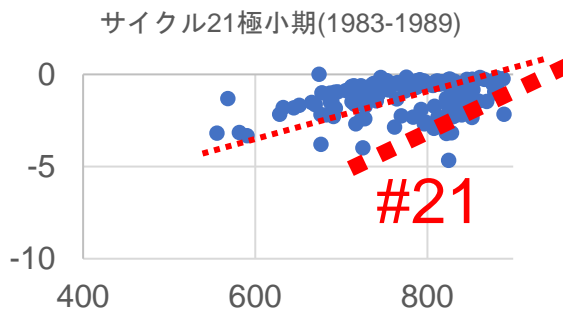
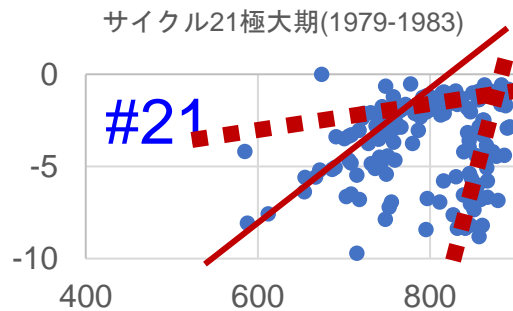
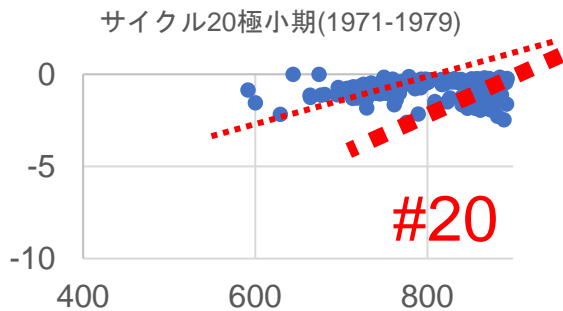


軌道高度(km)

極小期

極大期

高度低下率(m/day)

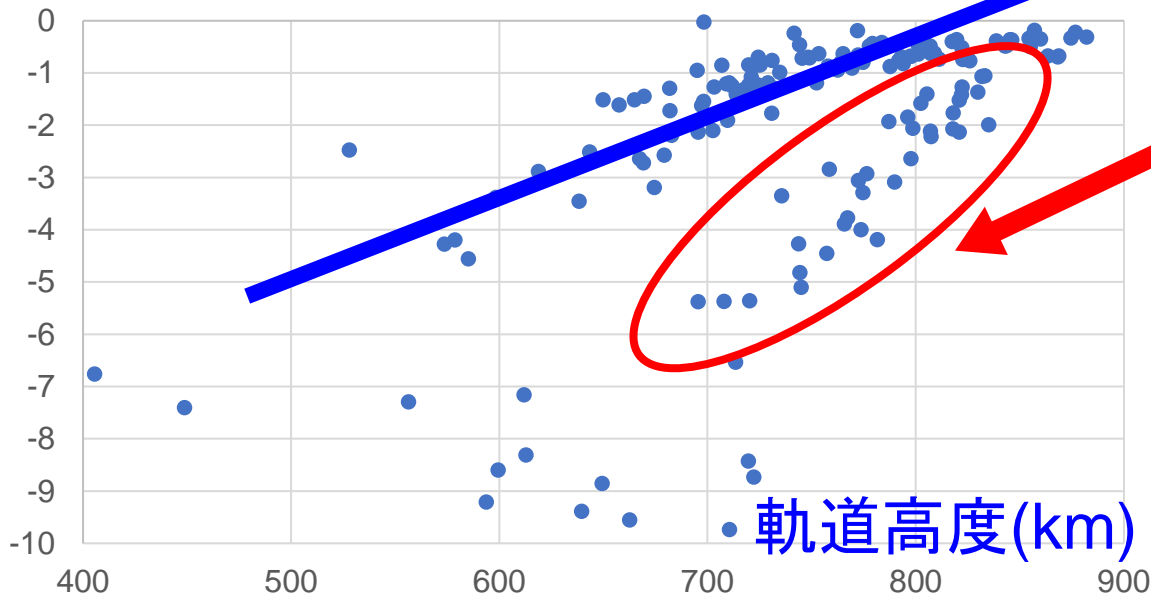


#24の低い太陽活動を反映

軌道高度(km)

全期間(1971-2021)

高度低下率(m/day)



スペースデブリ
(1971年までに確認できたもの、登録番号が6000以下)
現在は50000以上で
うちデブリは半分以上で、日々作られる

宇宙物体に対する大気抵抗の物理量

物体に作用する大気抵抗の成分は、一般的に

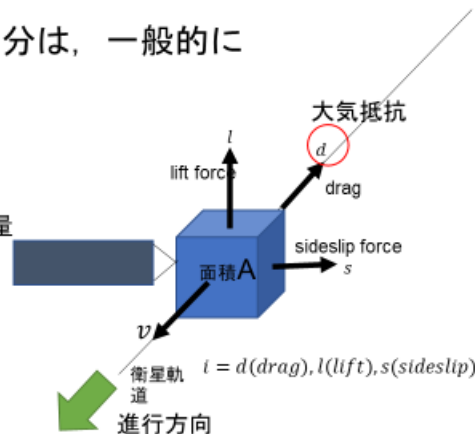
$$F_i = \frac{1}{2} \rho A C_i v^2$$

環境(高度や宇宙天気)に依存する物理量

ρ = 大気質量密度, kg/m³
 v = 物体の大気相対速度, m/s

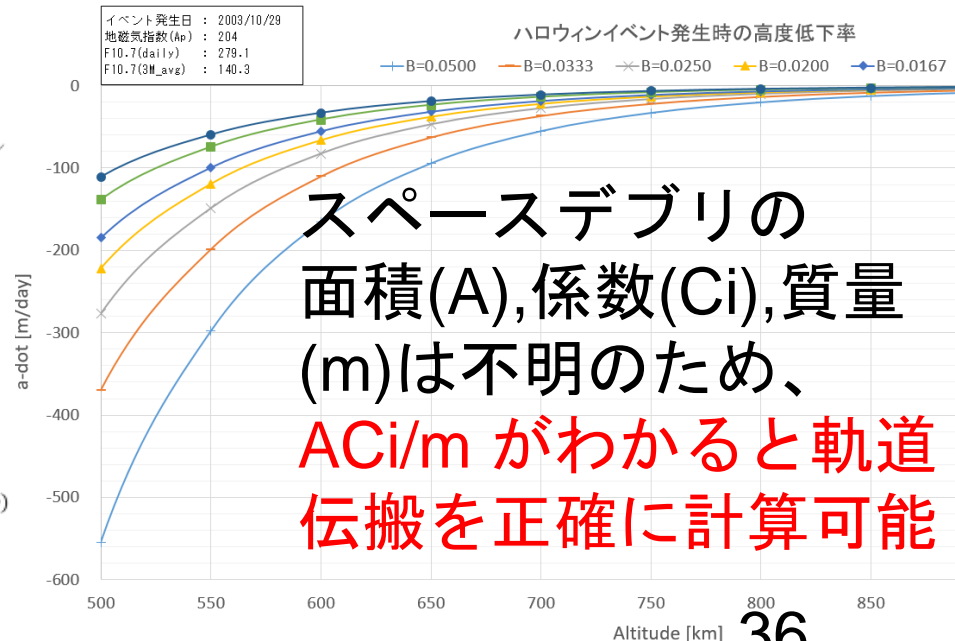
宇宙物体の特性に依存する物理量

A = 大気に相対する面積 m²
 C_i = 抵抗係数, 無次元: 形状に依存
 m = 物体質量, kg



宇宙天気現象(太陽活動)の影響を調べる

5



スペースデブリの
面積(A), 係数(Ci), 質量
(m)は不明のため、
 AC_i/m がわかると軌道
伝搬を正確に計算可能

Altitude [km] 36

まとめ

公開されているTLEデータを用い、宇宙天気現象(太陽活動)と衛星軌道降下について、長期的及び短期的に影響を明らかにし、太陽相対黒点数と軌道降下率の50年間の関係から、低高度ほど低下が大きく、また極大期の軌道降下率は極小期に比べ、5から10倍程度大きいことがわかった

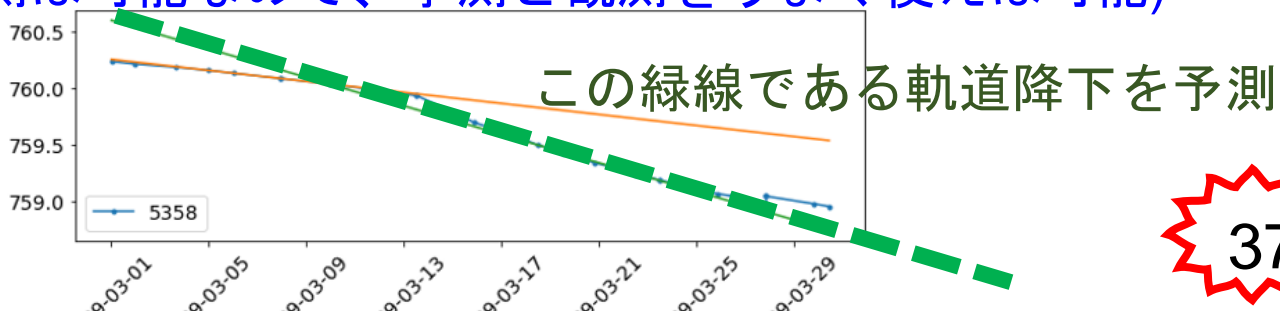
先のサイクル24の極大期の軌道降下率は小さく、穏やかな太陽活動の反映、ただし定量的な解析が必要



宇宙天気現象(太陽活動、地磁気活動など)が宇宙物体の影響は間接的のため、その間の物理過程を考慮することが必要
(F10.7, SolarUV, AE, Dst, Kp, NRLMSIS00,,,,) ρ の大気モデルへの寄与

不明だったスペースデブリのACi/m(質量や面積)を推測することが可能

TLEは一日一回程度の観測のため、低下した時間や場所を特定することは困難(軌道予測は可能なので、予測と観測をうまく使えば可能)



Star-AO打ち上げ時
(2018/10/30)
の軌道予測による追尾
Python+Orbital
(or ephem)

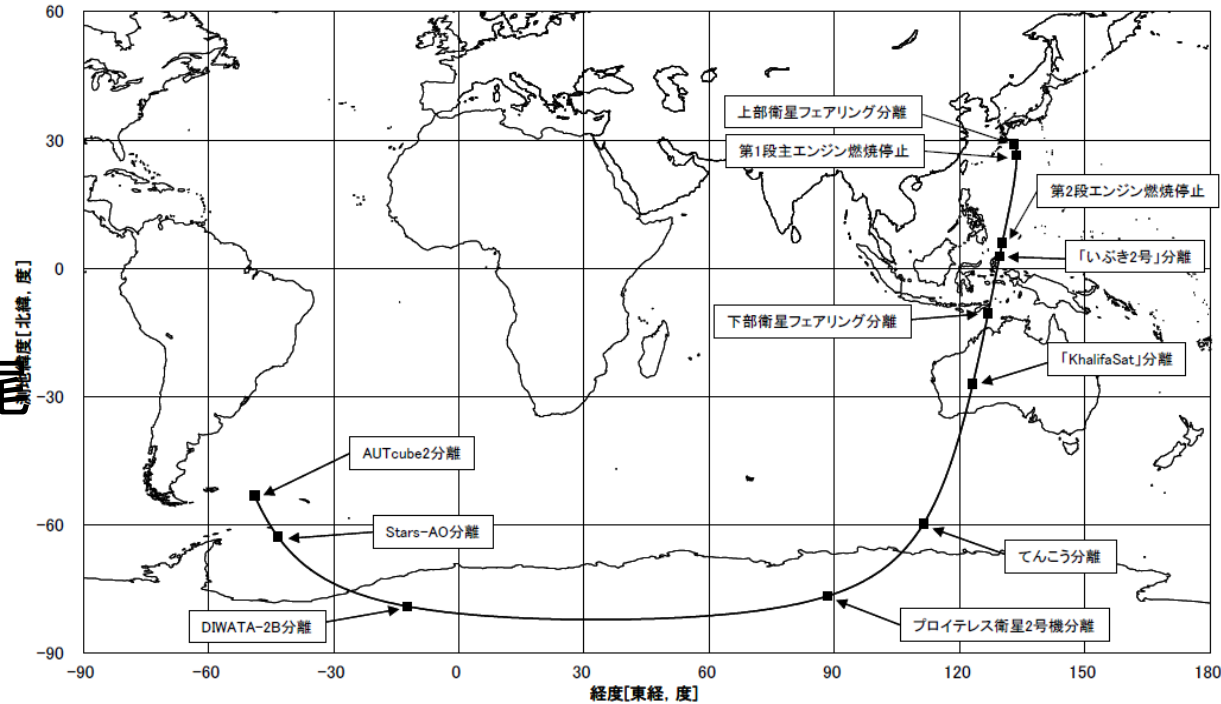
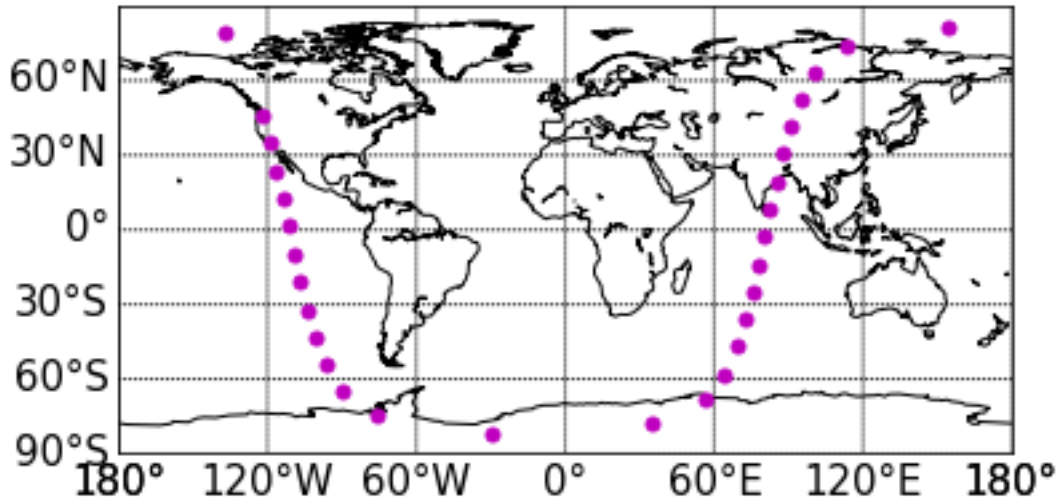
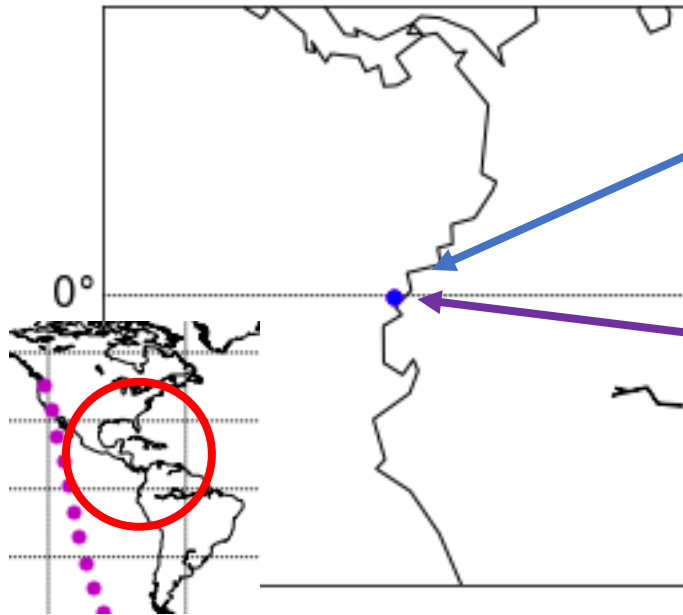


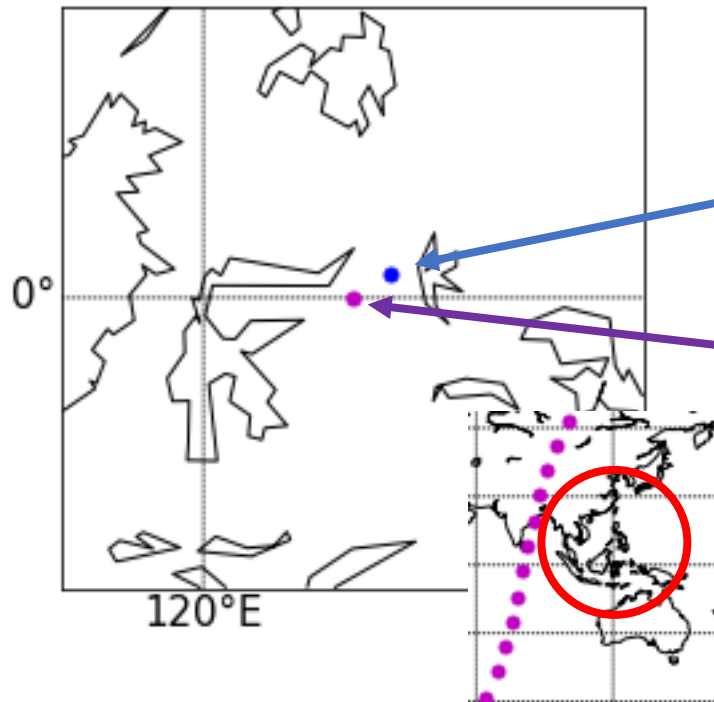
図-5 ロケットの飛行経路





Stars-AO のTLEの観測地点
 例えば 2020/01/01 の実測値

TLEの軌道予測による追尾
 例えば 2020/01/01 の
 軌道予測計算による予測地点



12307(Hinotori)TLEの観測地点
 例えば 1989/03/15 の実測値

TLEの軌道予測による追尾
 例えば 1989/03/15 の
 軌道予測計算による予測地点

このずれが宇宙環境の反映
 (太陽フレアの影響)