



1

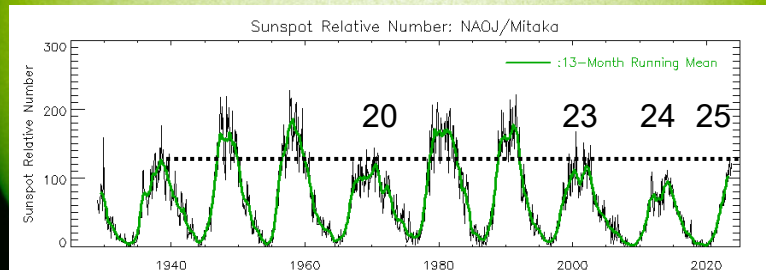
- 1. 最近の太陽活動
 - 活発化する25期の活動
- 2. 注目されるコロナ
 - 内部太陽圏
 - 今後の衛星計画
- 3. 日食観測の重要性
- 4. 2024年皆既日食

2

1. 最近の太陽活動

現25期の活動は、24期を既に上回っている

- 今後の皆既日食においても、活発なコロナやプロミネンスの活動が見られるかも
- 20期、23期に匹敵？
 - 20期、23期は、24期ほどではないが活発ではない



最近約90年間の黒点相対数変動 (国立天文台)

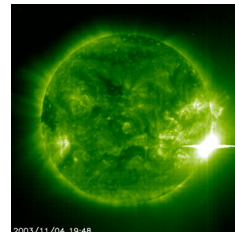
3

1. 最近の太陽活動 20期、23期の様子は？

- 20期、23期は特に黒点が多かったわけではないが
- 20期には、1972年8月の大フレア
 - 観測史上最速のCME(地球まで14.6時間)、最大級の銀河宇宙線減少
 - 電話線に障害
 - たまたまアポロ16号と17号の間で、有人宇宙船には被害なし
- 23期には、Halloween eventと呼ばれる大フレア群(2003年)
 - 観測史上最大のX線フレア
 - 送電網や衛星に障害
- 今くらいの太陽活動になると、地球にも大きく影響する大フレア発生の可能性は十分ある



1972年8月7日の大フレア
(Zirin&Tanaka 1973)



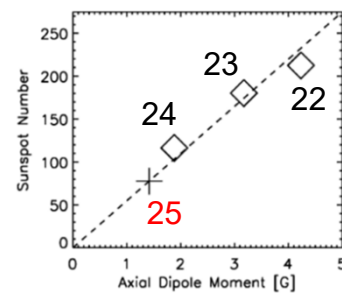
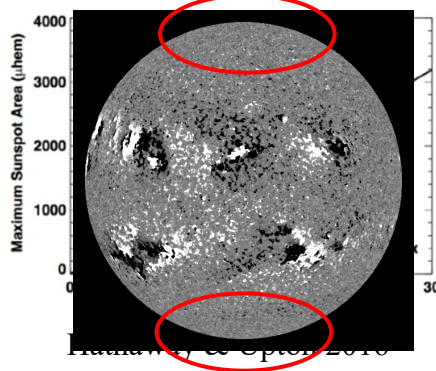
最大のX線フレア(2003年11月4日)
(SOHO/EIT)

4

1. 最近の太陽活動

25期はどのように予測されていたか？

- 極磁場と関係あると思われる地磁気の指数が、次の太陽活動と良い相関を示す
- 24期の極磁場の状況から、25期の太陽活動は24期よりさらに低下と予想された



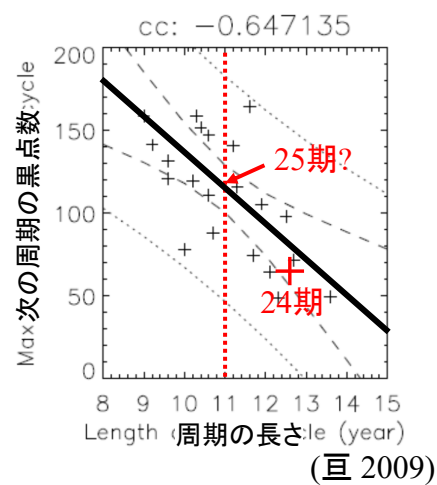
Iijima+2017 ⁵

5

1. 最近の太陽活動

25期はどのように予測されていたか？

- 一方、短いサイクルの後は活動度が上がる、という経験則がある
 - 第23期は12.3年で、次の24期の活動は低かった
 - 第24期は11.0年と短くなり、第25期の活動は上昇
- 経験則(科学的にはよくわからない)が正しい結果を出したが、太陽活動予測はまだ研究の余地が大きい

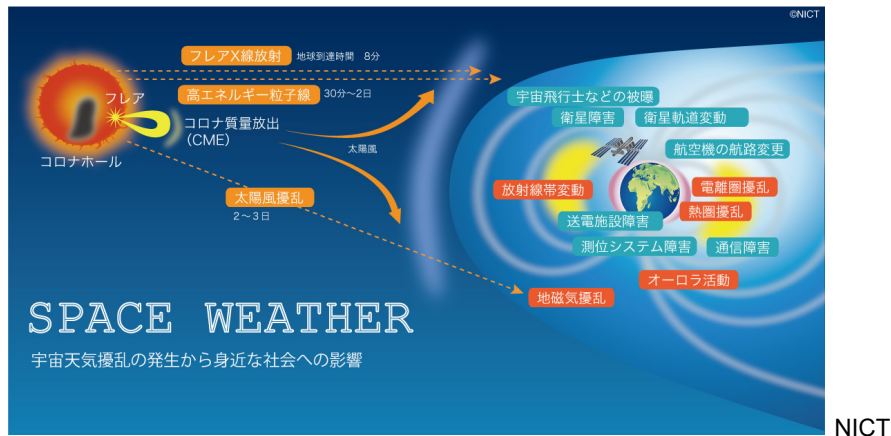


(亘 2009)

6

2. 注目されるコロナ 宇宙天気

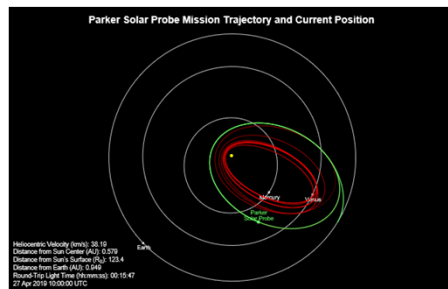
- コロナは、惑星間空間を通じて地球にまでつながっている
 - 「宇宙天気」
- コロナ～惑星間空間は、今重要な研究対象



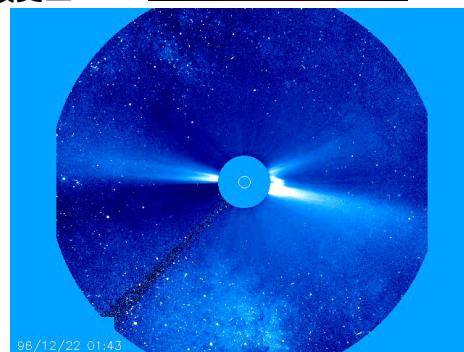
7

2. 注目されるコロナ 活躍する探査機(1) Parker Solar Probe

- アメリカが2018年8月に打ち上げた探査機
- 太陽風を、その源に近いところで直接とらえる
 - 太陽から約9太陽半径、人類史上太陽に最も接近



NASA/JHU/Parker Solar Probe

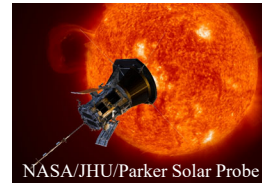


SOHO/LASCOによる観測 (ESA/NASA)

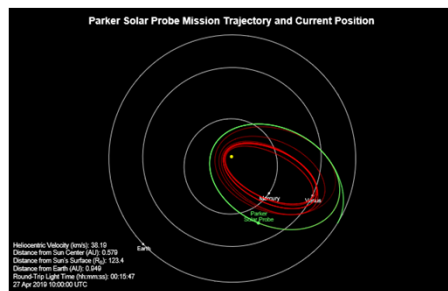
8

2. 注目されるコロナ 活躍する探査機(1) Parker Solar Probe

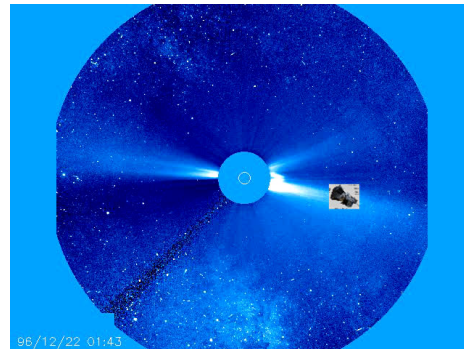
- 最接近時には、日食で見えるコロナに肉薄する
- 太陽風の中に飛び込んで、太陽風磁場の折れ曲がりを発見するなどの成果



NASA/JHU/Parker Solar Probe



NASA/JHU/Parker Solar Probe



96/12/22 01:43

SOHO/ LASCOによる観測 (ESA/NASA)

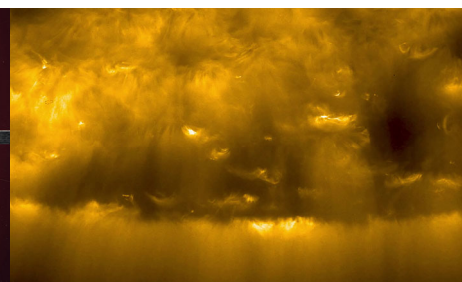
9

2. 注目されるコロナ 活躍する探査機(2) Solar Orbiter

- ESA、2020年2月打ち上げ
- やはり水星軌道内側の60R_{sun}まで太陽に近づく
- 太陽を間近で見る
 - 惑星探査で行ってきたことを太陽で実現
- コロナ加熱や太陽風源の解明につながるかもしれない微小エネルギー解放現象を発見



太陽を観測するSolar Orbiterの想像図 (ESA)

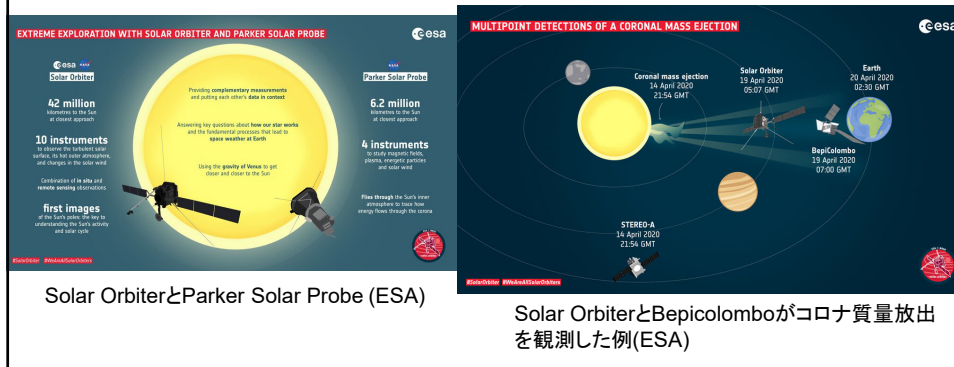


太陽極域の紫外線像(ESA)

10

2. 注目されるコロナ 充実する内部太陽圏探査

- コロナへとつながる「内部太陽圏」が注目されている
- Parker Solar Probe, Solar Orbiterに加え、Bepicolombo (日欧水星探査機、2018年10月に打ち上げ)がクルーズ期間に太陽圏プラズマを測定



11

2. 注目されるコロナ コロナを観測する新しい計画(1) Proba-3

- コロナの観測は太陽・太陽圏研究の重要な課題で、次々新しい計画が提案されている
- Proba-3 (ESA、2024年打ち上げ予定)
 - 衛星編隊飛行 (Formation Flight) 技術実証
 - 1機を月の代わりの遮蔽板として、人工日食を実現
 - 2機の位置の精密制御が必要
 - もう1機は144m離してコロナ(可視光)を観測

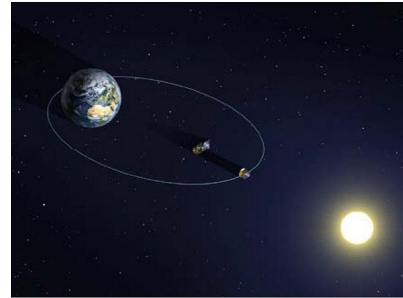


Proba-3 (ESA)

12

2. 注目されるコロナ コロナを観測する新しい計画(1) Proba-3

- 今までの衛星コロナグラフ(太陽に近いところは見えない)と違い、1.1～3太陽半径を観測できる
 - まさに皆既日食の再現
- 公転周期約20時間、そのうち6時間程度で「日食」連続観測

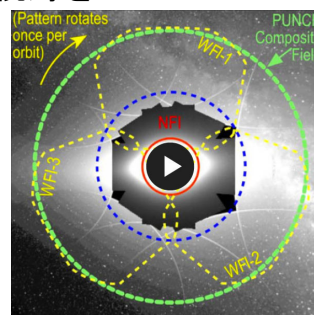
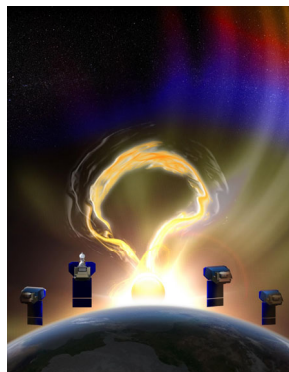


Proba-3の長円軌道 (ESA)

13

2. 注目されるコロナ コロナを観測する新しい計画(2) PUNCH

- NASA、2025年打ち上げ予定
- コロナ～内部太陽圏での、太陽風・CMEを広い視野の白色光コロナグラフでとらえる
- 4機の衛星で直径90° の視野をカバー

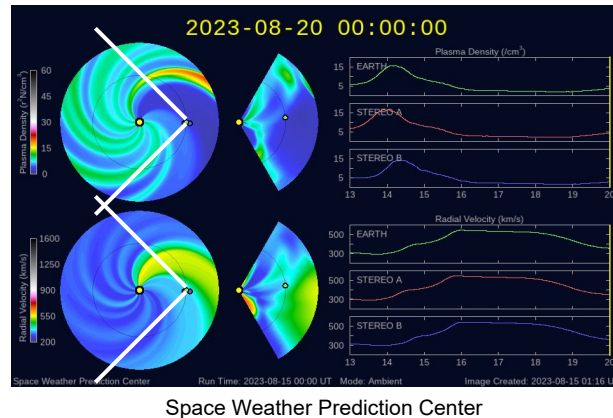


PUNCHの想像図(左)と視野 (NASA/SWRI)

14

2. 注目されるコロナ コロナを観測する新しい計画(2) PUNCH

- 計算によって「見ていた」太陽風の様子が、実際にとらえられる



15

3. 日食観測の重要性 太陽コロナの白色光観測

- 紹介した宇宙機は白色光コロナグラフを搭載
 - SOHO、STEREO、Parker Solar Probe、Solar Orbiter、Proba-3、PUNCH
- 宇宙機コロナグラフ
 - 外部コロナのみが多い(だいたい $>2R_{\text{sun}}$)
 - 散乱光が多い
- 地上コロナグラフ K-Cor (マウナロア)
 - 偏光成分のみ観測
 - $<2R_{\text{sun}}$ 、散乱光は多い
- 日食での観測は？

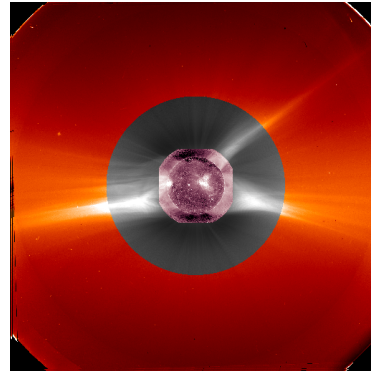


2017年の日食時の観測画像

16

3. 日食観測の重要性 皆既日食における白色光コロナ観測

- 皆既日食はたまにしか起こらないが、太陽のリム直近～数太陽半径まで低backgroundでの観測が可能
- 多くの宇宙機コロナグラフでは観測が困難な低高度白色光コロナを見ることができる

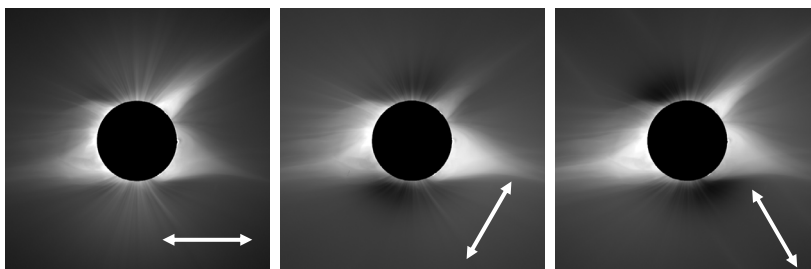


SOHO/LASCO
C2(NASA/ESA)+SDO(NASA)
で見るコロナと、それに日食観測
を加えた場合

17

3. 日食観測の重要性 太陽コロナの偏光観測

- 宇宙機コロナグラフはどれも偏光観測機能がある
- 地上の白色光コロナグラフも(マウナ・ロア)
- 偏光: 光の波の振動方向の偏り
 - 目には見えないが、身近にある
 - 例: 青空の偏光
 - 液晶を使っているもの
- コロナは偏光している



偏光板を通して撮影した日食時のコロナ

18

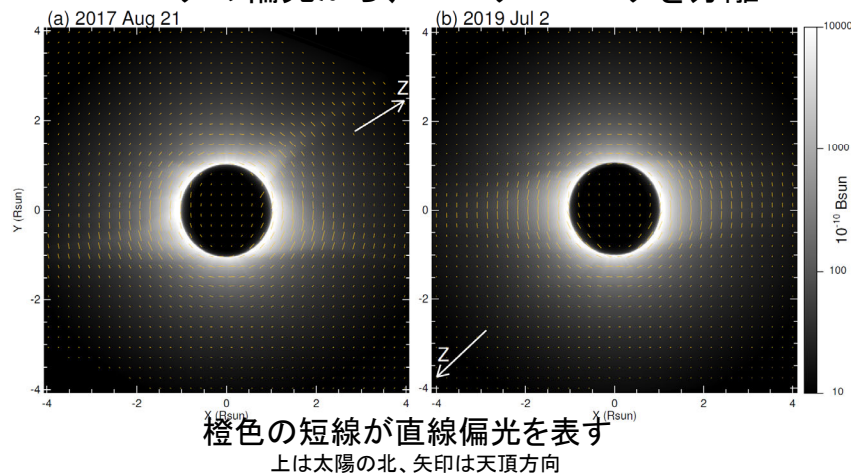
3. 日食観測の重要性 太陽コロナの偏光観測

- 白色光コロナの偏光
 - 白色光コロナはKコロナ(高温プラズマ)とFコロナ(惑星間空間ダスト)からなり、K・Fコロナを分離する必要がある
 - Kコロナは直線偏光しており、Fコロナはほぼ偏光していないので、偏光観測によりKコロナだけを取り出す
- 日食においても偏光観測は定番
- 今日食で偏光を観測する意味は？
 - 低backgroundは、高精度偏光測光を可能にする
 - そもそも最も正確な偏光測光が可能、スペースコロナグラフの較正源
 - Fコロナは1980年代の測定が今も基準になっているが、より高精度な情報を提供できる

19

3. 日食観測の重要性 日食での偏光観測結果

- 2017年と2019年の日食で、アマチュアと共同で偏光観測を行った (Hanaoka+2021)
- K+Fコロナの偏光から、Kコロナ・Fコロナを分離

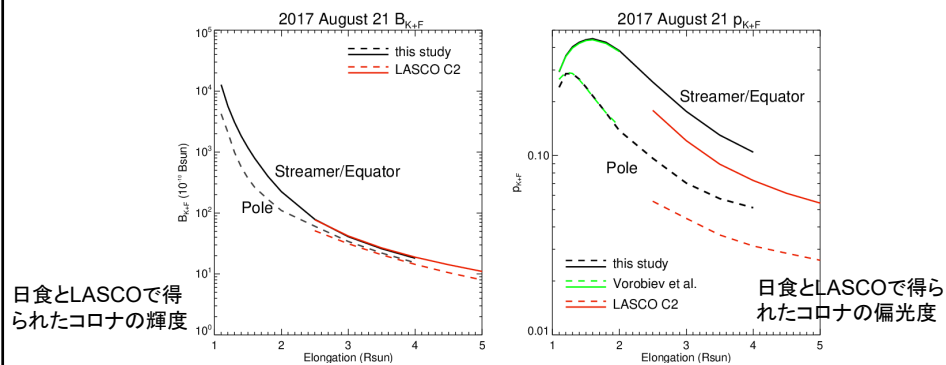


20

3. 日食観測の重要性

日食での偏光観測結果

- 2017年日食では、皆既日食から得られた偏光度データが大変よい一致
 - 我々とVorobiev+2020の結果が一致
- 一方、SOHO/LASCOの偏光は系統的に低い
 - SOHO/LASCOの偏光度導出は見直す必要がある



21

3. 日食観測の重要性

2023年4月20日の皆既日食

- アマチュア観測家による白色光の測光・偏光測定
- 増田さんより測光用データ、坂井さんより偏光データを受領
 - 2017年、2019年と同様の偏光観測
 - 偏光フィルターホイール(0/60/-60°, ND)と一眼レフカメラ
 - R, G, Bの3波長での測光・偏光データが得られる

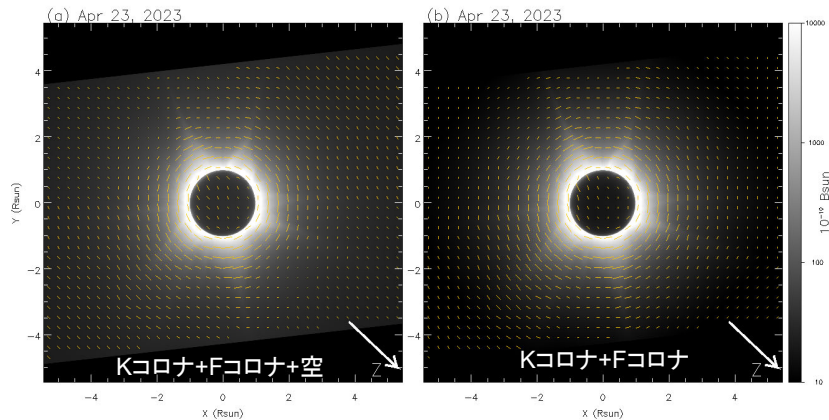


Xavier M. Jubier/Google Map

22

3. 日食観測の重要性 2023年4月20日の皆既日食

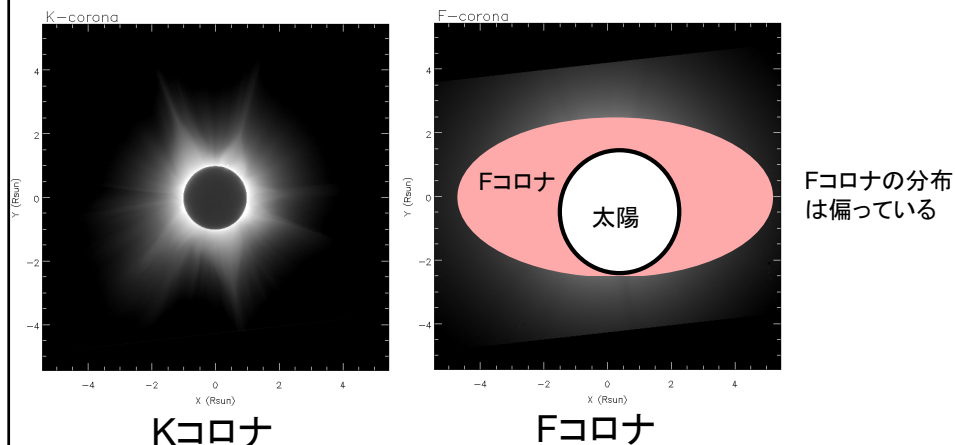
- 偏光観測結果
 - 観測される輝度・偏光はKコロナ+Fコロナ+空なので、まず空の輝度・偏光を分離



23

3. 日食観測の重要性 2023年4月20日の皆既日食

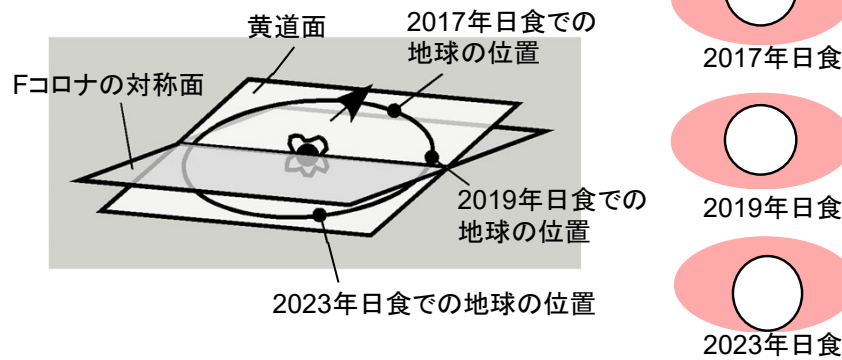
- KコロナとFコロナの分離
 - Kコロナの偏光度がほぼディスクセンターからの距離だけで決まることを利用して、KコロナとFコロナを分離



24

3. 日食観測の重要性 2023年4月20日の皆既日食

- 日食で見えるFコロナ
 - Fコロナ(惑星間ダスト)の分布は、黄道面に対して傾いている
 - 主として太陽から遠いところで測定されてきた
 - 最近3回の日食での測定データは、従来の観測と整合するとともに、内部Fコロナの高精度な測光を実現している

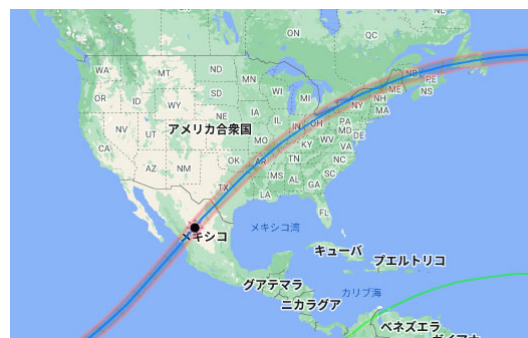


観測されたFコロナと太陽の位置関係の模式図

25

4. 2024年皆既日食

- 2024年4月皆既日食に向けて、アメリカでは地の利を生かして科学観測などの計画が進められている
 - NASAでは科学観測5件、citizen science 5件採択

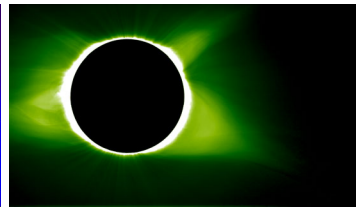
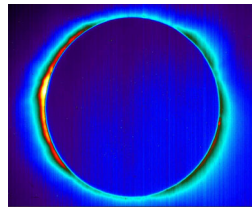


Xavier M. Jubier/Google Map

26

4. 2024年皆既日食 NASA科学観測の計画

- 航空機による観測2件
- NASAが所有している、スペースシャトルの打ち上げ監視用だったWB-57というジェット機を、日食観測用に改造
 - 撮像観測 (Amir Caspi, NASA/Southwest Research Institute)
 - 2017年にも実施、7.5分間もの観測ができた
 - 撮像の他分光観測も行う (S. Habbal, ハワイ大学)



NASA/Southwest Research Institute/コロラド大学

27

4. 2024年皆既日食 NASA科学観測の計画

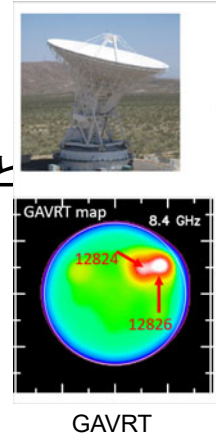
- 日食時の電離層の観測 (2件)
 - 大気上層数十km～数百kmで、電離層が太陽光によって形成される
 - 遠距離間の電波による通信を可能にする
 - 太陽が原因なので、昼と夜で大きく状態が異なる
 - 日食が起こって太陽放射が減ると、電離層に何が起こるのか？
 - N. Frissel (スクラントン大学)がアマチュア無線家に呼びかけ、日食中の通信状態を広範囲で監視
 - SuperDARNレーダーを使って、日食中の変化を調べ、理論予測と比較する (B. Khunduri バージニア州立工科大学)



28

4. 2024年皆既日食 NASA科学観測の計画

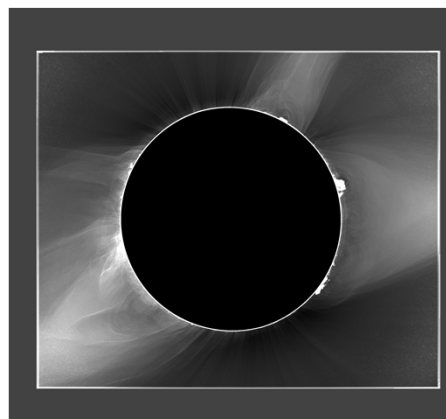
- 電波で太陽表面を探る
 - 34-meter Goldstone Apple Valley Radio Telescope (GAVRT、教育用に使用されている)で太陽を観測し、月の動きによる電波の変化をすることで、黒点などの電波像を再現
 - T. Velusamy (ルイス教育研究所)
 - 電波望遠鏡そのものの分解能よりも格段に細かく見ることができる
 - 生徒が参加



29

4. 2024年皆既日食 NASA Citizen Scienceの計画

- 多くの市民・アマチュア天文家の連携による観測が何件も提案されている
 - Citizen CATE (Continental-America Telescopic Eclipse) 2024
 - 一般市民による35チームのネットワークで日食を観測
 - 同じ装置が提供される、今回は偏光も



2017年Citizen CATEで得られた、コロナの変化を示す動画

30

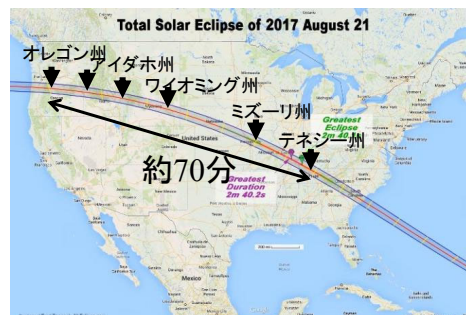
4. 2024年皆既日食 NASA Citizen Scienceの計画

- Dynamic Eclipse Broadcast (DEB) Initiative
 - 70以上の同じ装置で日食をとらえ、コロナの変化を追跡
- Eclipse Megamovie 2024
 - 100人以上のアマチュアによる観測(赤道儀使用)をつなぐ
- SunSketcher 2024
 - 多くの方がスマートフォンで撮影した日食画像を動画にして、時間変化を追跡
- GeoCollaborate
 - 日食中の様々な情報・データの共有と活用

31

4. 2024年皆既日食 日本のアマチュアによる観測は？

- 皆既帯が北米を横断した2017年の皆既日食
 - 多点での観測のデータ提供を呼びかけたところ、各地に観測に行った方から、70分程度にわたる多点データを頂いた

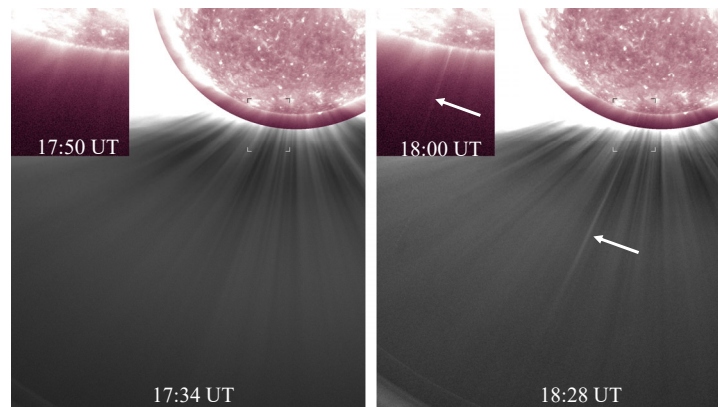


NASA日食ウェブページより

32

4. 2024年皆既日食 アマチュアによる科学観測

- アマチュアによる連携で、150万km上空へ伸びる極域ジェットをとらえた (Hanaoka+2018)
 - 太陽表面近くで紫外線で見えるジェットの、より上空での姿をとらえた

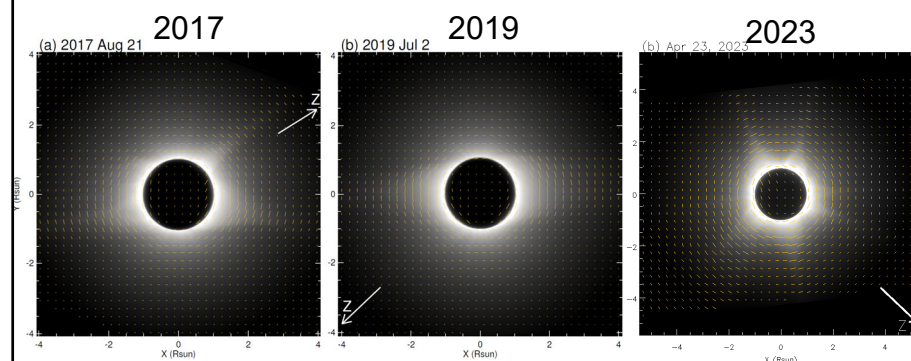


紫外線(SDO/AIA)と日食でとらえたジェット (Hanaoka+2018)

33

4. 2024年皆既日食 アマチュアによる科学観測

- 偏光観測も重要なテーマ
 - 宇宙機では難しい高精度観測を実現



橙色の短線が直線偏光を表す

上は太陽の北、矢印は天頂方向

34

4. 2024年皆既日食 アマチュアによる科学観測

- 多点で観測できるのはアマチュアの強み
- 日本のアマチュアの連携による、測光・偏光観測をしてみませんか