

文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

第26回 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 (2022.12.09)

- 12:05-12:10 (5分) : 研究所・センターの概要 (草野所長)
- 12:10-12:25(15分) : 若手研究者からのプレゼン
- ①三宅芙沙 准教授
「年輪に刻まれた過去の極端太陽面爆発」
 - ②大畑 祥 助教
「北極域におけるブラックカーボンの精密観測」
 - ③早川尚志 特任助教
「歴史文献による過去3000年間の激甚太陽嵐の調査と定量復元」
- 12:25-12:45(20分) : 質疑応答

東海国立大学機構名古屋大学

文部科学省定例ランチミーティング
2022年12月9日

宇宙地球環境研究所



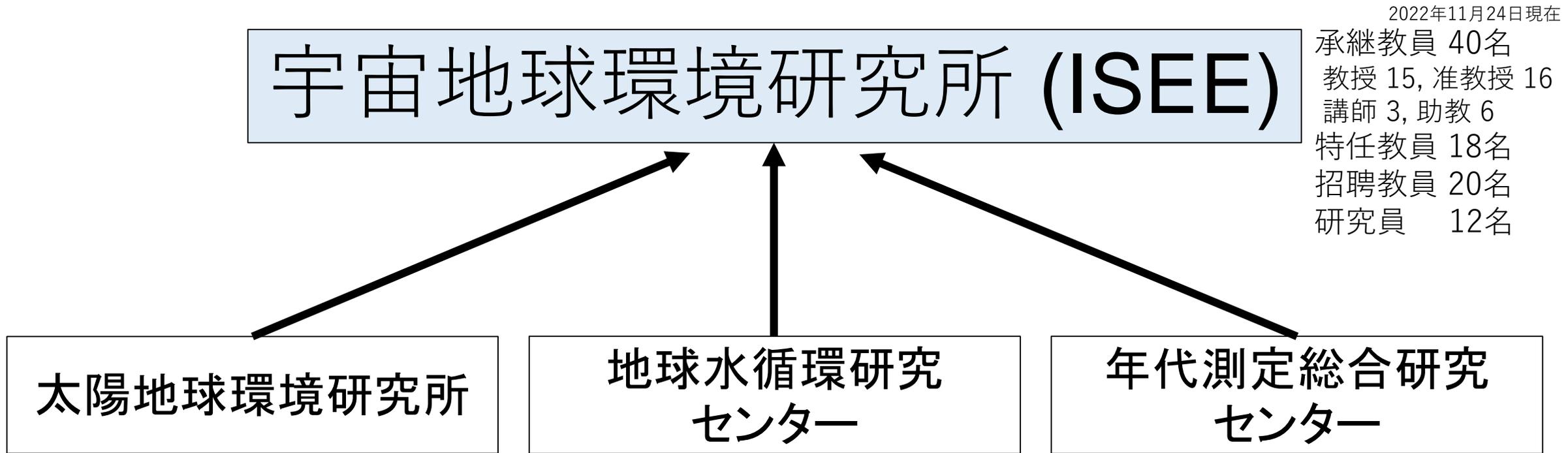
MAKE NEW STANDARDS.

東海国立大学機構



名古屋大学
宇宙地球環境研究所
Institute for Space-Earth Environmental Research

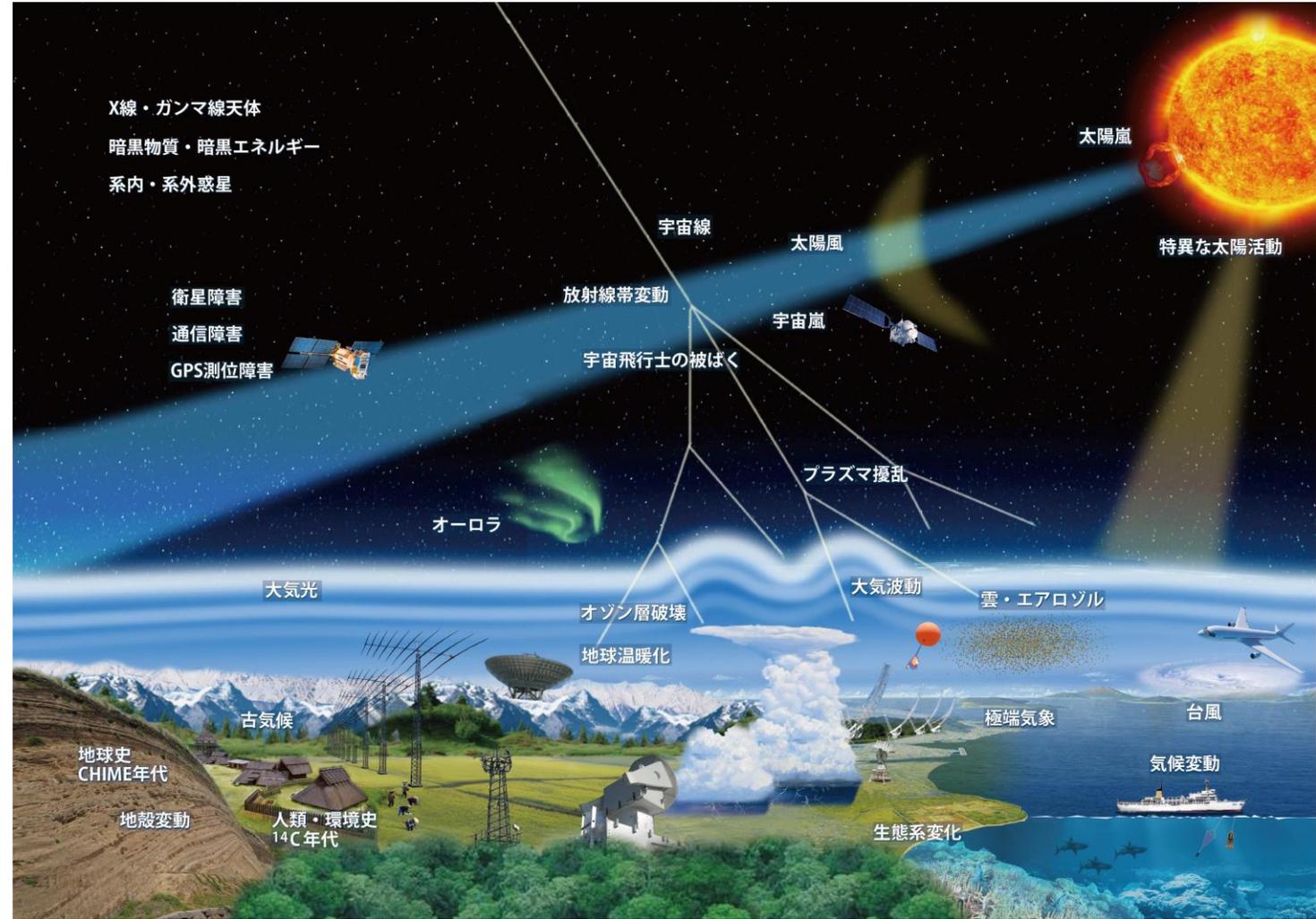
- 宇宙地球環境研究所は分野を超えた新たな科学研究の開拓を目指して、2015年10月に名古屋大学の3つの研究所・センターを統合して設立された。



宇宙線、太陽、太陽圏、地球電磁気圏、超高層大気、大気、海洋、陸域、生態、年代測定、地質学、人類学、歴史学

ISEEのミッションと研究領域

- 地球・太陽・宇宙を一つのシステムとして捉え、そこに生起する多様な現象のメカニズムと相互作用を解明する。
- 地球環境問題の解決と宇宙に広がる人類社会の発展に貢献する。
- 宇宙科学と地球科学及び関連する様々な研究分野を融合し、新たな研究領域を開拓する。
- 理学・工学・環境学研究科の大学院教育を担当し、幅広い視野を持つ人材育成を進めると共に名古屋大学の機能強化に貢献する。



宇宙地球環境研究所の研究領域

共同利用・共同研究プログラム（第4期中期 2022-2027）

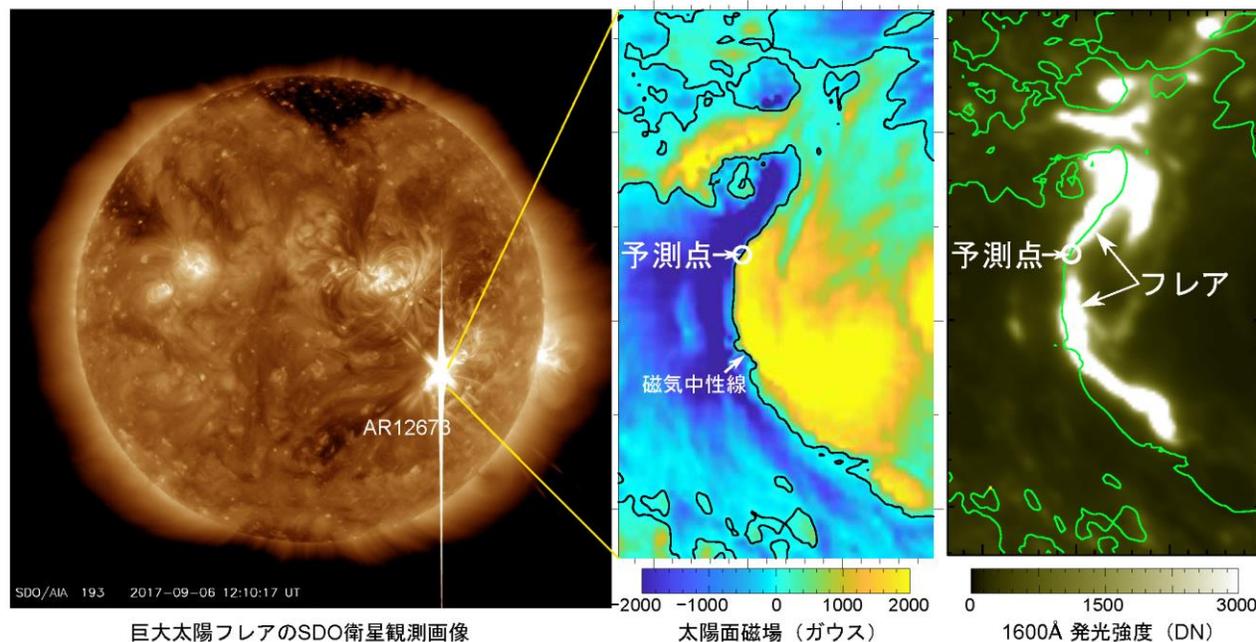
カテゴリ	申請書	応募資格者 *印の箇所は「国内の大学及び研究機関に所属する研究者（学生は含まない）」	カテゴリ	申請書	応募資格者 *印の箇所は「国内の大学及び研究機関に所属する研究者（学生は含まない）」
00) <u>ISEE Symposium</u>	別紙様式00	*	12) <u>航空機観測共同利用（ドロップゾンデ）</u>	別紙様式12	*
01) <u>国際共同研究</u>	別紙様式01	*	13) <u>若手国際フィールド観測実験</u>	Form13, 別紙様式13	国内の大学及び研究機関に所属する大学院生及び博士号取得後10年以内の若手研究者
02) <u>ISEE International Joint Research Program</u>	Form02	国外の大学及び研究機関に所属する研究者（名誉教授、PDを含む。学生は含まない）	14) <u>国際技術交流</u>	Form14, 別紙様式14	国内外の大学及び研究機関に所属する研究者・技術者（学生は含まない）
03) <u>ISEE International Workshop</u>	Form03	国内外の大学及び研究機関に所属する研究者（名誉教授、PDを含む。学生は含まない）	15) <u>国際スクール開催支援</u>	Form15	国内外の大学及び研究機関に所属する研究者（名誉教授、PDを含む。学生は含まない）
04) <u>一般共同研究</u>	別紙様式04	*	16) <u>若手国際派遣支援（海外発表・海外滞在）</u>	Forms16a, 16b, 別紙様式16a, 16b	国内の大学及び研究機関に所属する大学院生
05) <u>奨励共同研究</u>	別紙様式05	国内の大学及び研究機関に所属する博士後期課程の大学院生、もしくは2023年度に博士後期課程に進学予定の者			
06) <u>研究集会</u>	別紙様式06	*			
#07) <u>計算機利用共同研究</u>	別紙様式07	国内の大学及び研究機関に所属する研究者（博士後期課程の大学院生を含む）			
08) <u>データベース作成共同研究</u>	別紙様式08	*			
09) <u>加速器質量分析装置等利用（共同利用）</u>	別紙様式09	*			
#10) <u>加速器質量分析装置等利用（委託分析）</u>	Form10, 別紙様式10	*			
11) <u>SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) Program</u>		国外の大学及び研究機関に所属する外国人大学院生			

若手研究者の国際共同研究などを強化するために第4期中期から上記4件の新規プログラムを開始

- 16カテゴリの共同利用・共同研究を公募し、毎年度約200件の課題を採択して実施している。
 - カテゴリ02/03/11/14/15は国外からの提案も受け付けている。
 - カテゴリ05/07/11/13/16は大学院生（一部博士後期のみ）も対象としている。

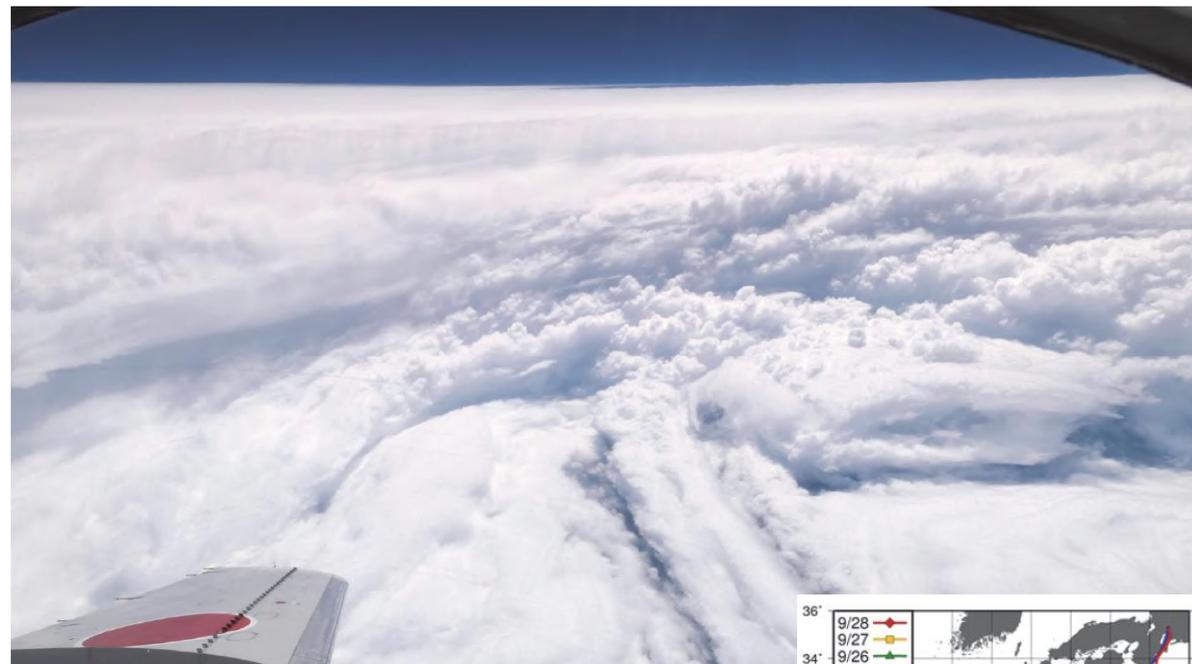
研究例

巨大太陽フレアを精密に予測する物理モデルを開発

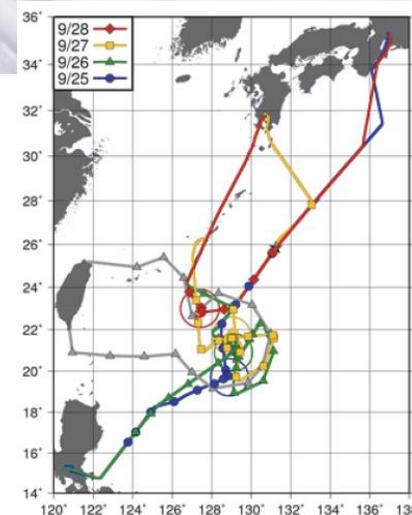


不安定性理論に基づいて太陽フレアの発生を予測する物理モデル初めて開発し、巨大太陽フレアの発生位置まで精密に予測できることを実証した。宇宙天気予報の高度化と宇宙で起きる爆発現象の理解に貢献する成果として注目されている。

航空機によるスーパー台風の貫入観測



2018年に東海地方で大停電などの大災害をもたらした台風Trami(第24号)等の貫入観測を航空機で実施している。ドロップゾンデによる直接観測データを数値予報に取り入れることで、台風の予測が改善されることを示した。



論文出版

■ 査読論文出版数

- 平均234編／年、5.9編／承継教員(40名)・年

■ 分野別：

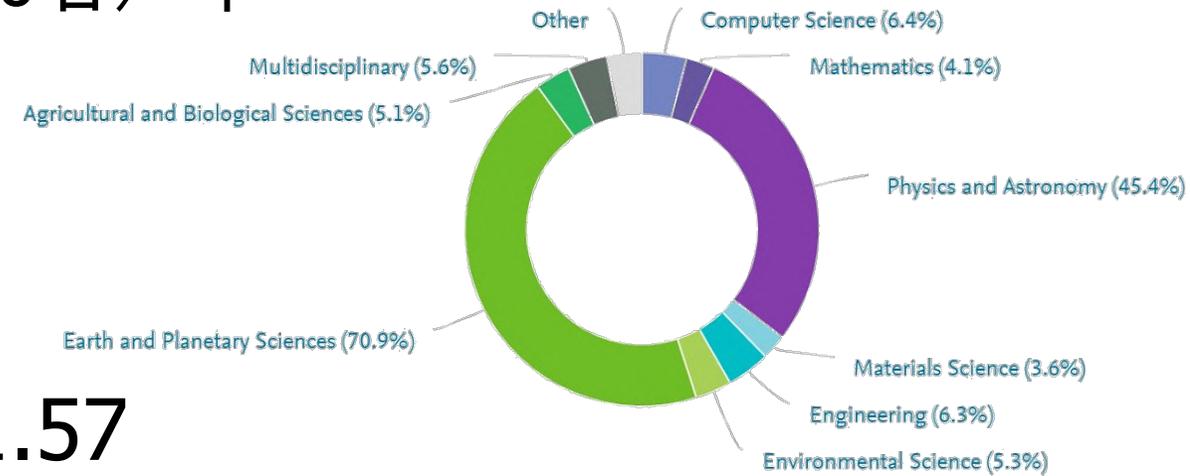
- Earth & Planetary Sciences 70.9 %
- Physics & Astronomy 45.4%

■ Field-Weighted Citation Impact: 1.57

■ Top 10% Citation Percentiles: 12.1%

■ Publication in Top 10% Journal Percentiles: 32.3%

■ International Collaboration: 68.4%

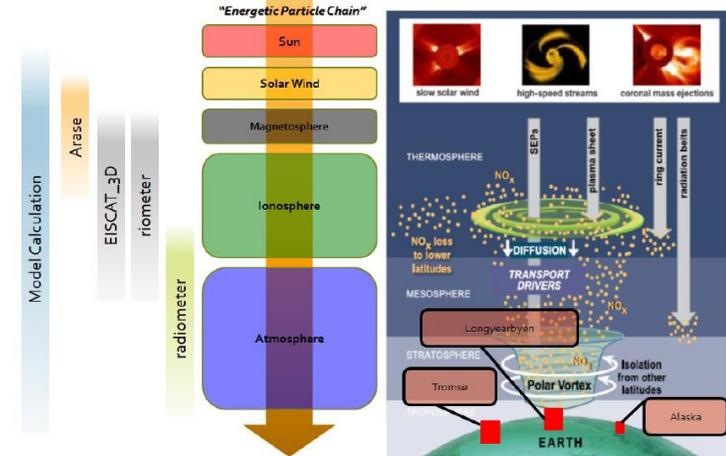


ISEEの出版論文分野割合

融合研究プロジェクト

■ 第4期中期目標期間(若手教員からの提案を所長リーダーシップ経費で支援して実施)

- Energetic Particle Chain
 - 高エネルギー荷電粒子降り込みが中層・下層大気に及ぼす影響 —
- パレオディテクターによる暗黒物質の直接探索
- 過去の太陽地球環境のアナログ観測記録のデータレスキュー
- 東南極の氷床内陸域における気候復元と宇宙環境変動に対する影響評価



Energetic Particle Chainプロジェクトの研究テーマ

■ 第3期中期目標期間(4つの融合研究プロジェクト)

宇宙地球環境変動予測

with support from a Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas from MEXT/Japan's "Project for Solar-Terrestrial Environment Prediction (PSTEP)"

Solar Activity
Solar flare
Solar cycle

Development of next-generation space weather forecasting
high-energy particles
radiation (VIS, UV, EUV, X)

mitigation of impact on power, satellite, aviation, and communications networks

Variability of Global Environment
storm in magnetosphere & ionosphere, extreme weather

Search of past extreme environmental changes
TANDETRON, tree ring, ice-core

Integrated analysis and high-performance computing R&D for future prediction

measurement in space, radar observation, cloud model, IPS measurement of solar wind, atmospheric radio measurement, modeling of solar activities

太陽活動の気候影響

Sunspot number variations in the past 400 years

Little Ice Age
Maunder Minimum
cycle 24

Numerical simulations of solar activity
Analyses of radioactive isotopes
Analyses of nitrogen oxides and hydroxide over the Antarctic
Future projections of Solar-Terrestrial Climate using Earth system models

大気プラズマ結合過程

This project is to investigate the interaction between neutral and plasma atmospheres and its impact on human activities in space and Earth's climate.

satellites, magnetosphere, ionosphere, middle atmosphere, troposphere

plasma sheet, space storm, plasma entry from magnetosphere, aurora, SAR arc, atmospheric waves from aurora, plasma instability, geomagnetic field, hemispheric coupling, plasma bubble

radiation belts, meteorological satellites, GPS positioning, radio communication, typhoon

noctilucent cloud, ozone destruction, climate change

Various observations and modeling

millimeter wave, radio antenna, solar, HF radar, airglow, GPS, convection, cloud model

pole ← → equator

雲・エアロゾル過程

雲水, 雲氷, 雲核, 雲成長

太陽光, 光学特性, 光散乱, 光吸収, 雲形成による気候影響

エアロゾル 1次生成, 2次生成, 放出, 雲生成

宇宙塵シャワー, 核反応・電離(イオン化) → エアロゾル雲生成

PM2.5大陸からの越境汚染, 重金属などの有害成分, 森林生態系への沈着影響

組織

融合研究戦略室

名古屋大学の関連部局
(理学・工学・環境学・
情報学研究科、博物館、
図書館、未来研) 及び学
外機関と協力して新たな
融合研究を開拓するた
めに2022年8月に設置



本日の研究紹介

- 年輪に刻まれた過去の極端太陽面爆発 三宅芙沙 准教授
- 北極域におけるブラックカーボンの精密観測 大畑 祥 助教
- 歴史文献による過去3000年間の激甚太陽嵐の調査と定量復元 早川尚志 特任助教



三宅芙沙 准教授



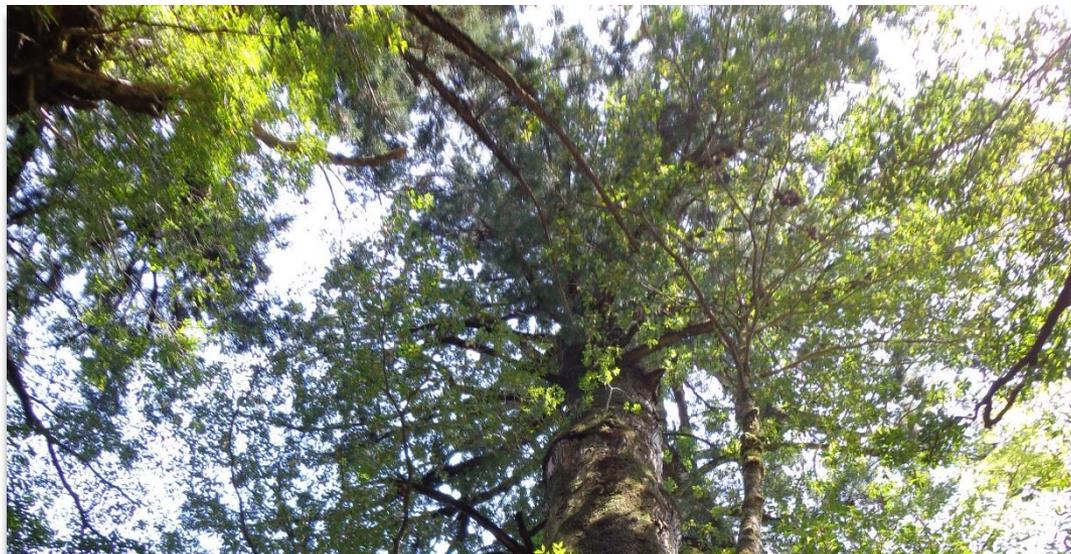
大畑 祥 助教



早川尚志 特任助教



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY



年輪に刻まれた過去の極端太陽面爆発



三宅芙沙
名古屋大学 宇宙地球環境研究所
2022年12月9日



自己紹介 三宅 芙沙

宇宙地球環境研究所 (ISEE)



銀河宇宙線
太陽高エネルギー粒子

地球大気

炭素14

ベリリウム10

年輪

氷床

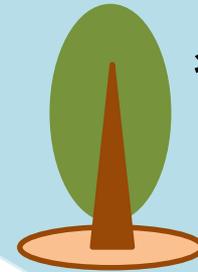
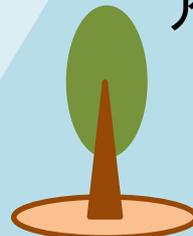


名古屋大学
理学部・理学研究科



名古屋大学
特任助教
2014~

アリゾナ大学
スイスETH
2015~2016



名古屋大学
准教授
2017~

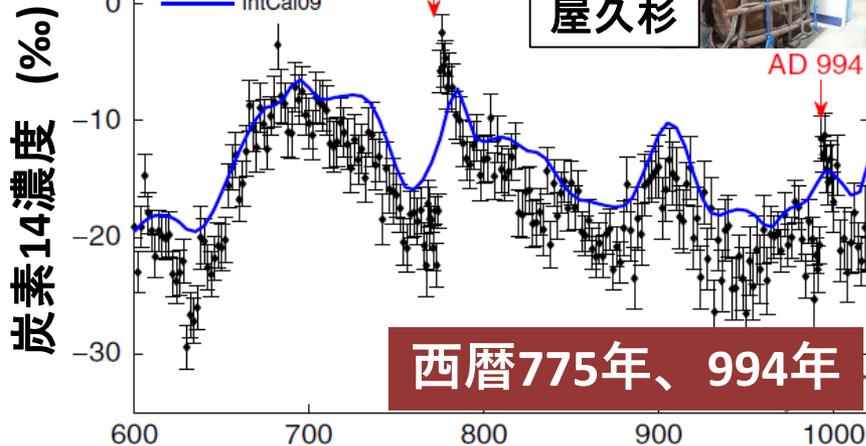
屋久杉の炭素14分析
極端太陽面爆発の痕跡
世界初の発見



屋久杉

AD 994

AD 775



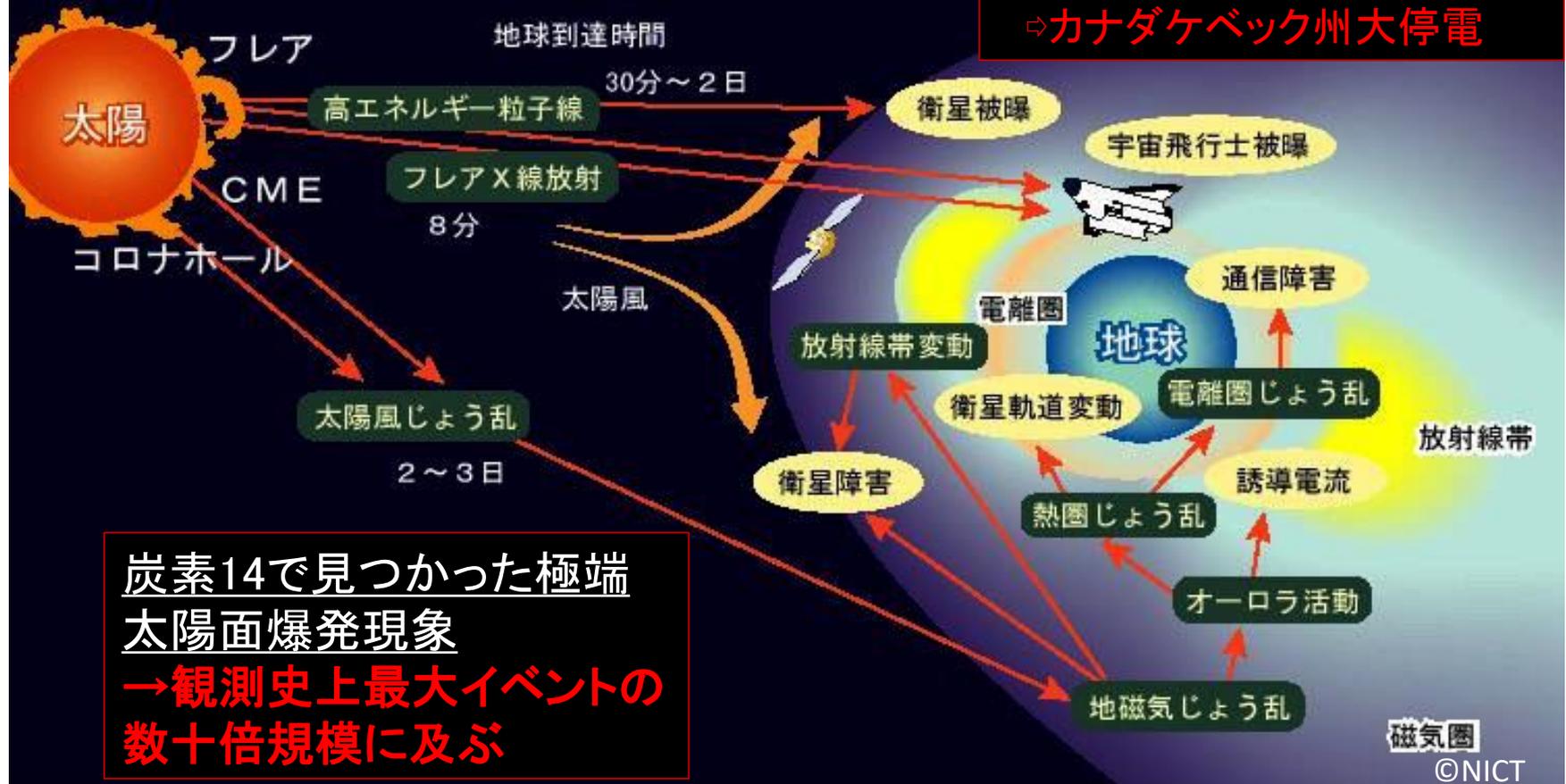
西暦775年、994年

年輪の炭素14や氷床コアのベリリウム10等を用いた極端太陽面爆発の研究

Miyake et al. Nature 2012 西暦
Miyake et al. Nat. Commun. 2013

極端太陽面爆発の影響

現代社会に甚大な被害



過去の事例

1859年 キャリントンイベント

⇒欧米の電報システム停止

1989年 多数の太陽面爆発

⇒カナダケベック州大停電

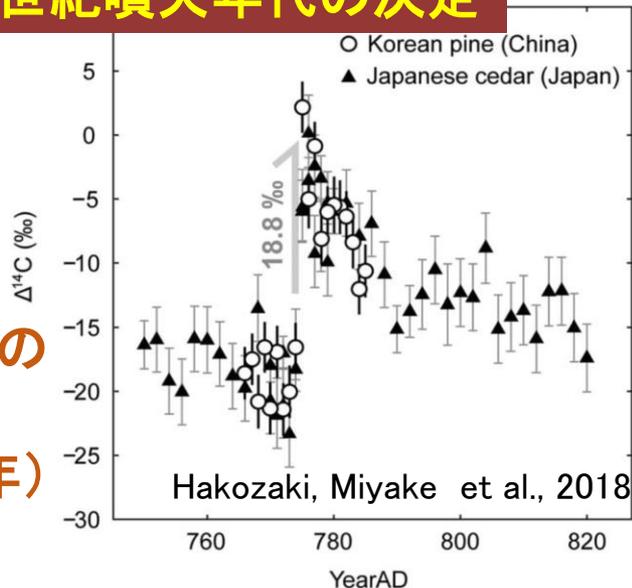
炭素14で見つかった極端
太陽面爆発現象
→観測史上最大イベントの
数十倍規模に及ぶ

過去1万年間の極端太陽面爆発の網羅的検出
発生頻度や規模上限など解明へ(基盤S:2020-,代表三宅)

本研究の波及効果と分野融合

自然災害の年代測定: 応用例

白頭山10世紀噴火年代の決定

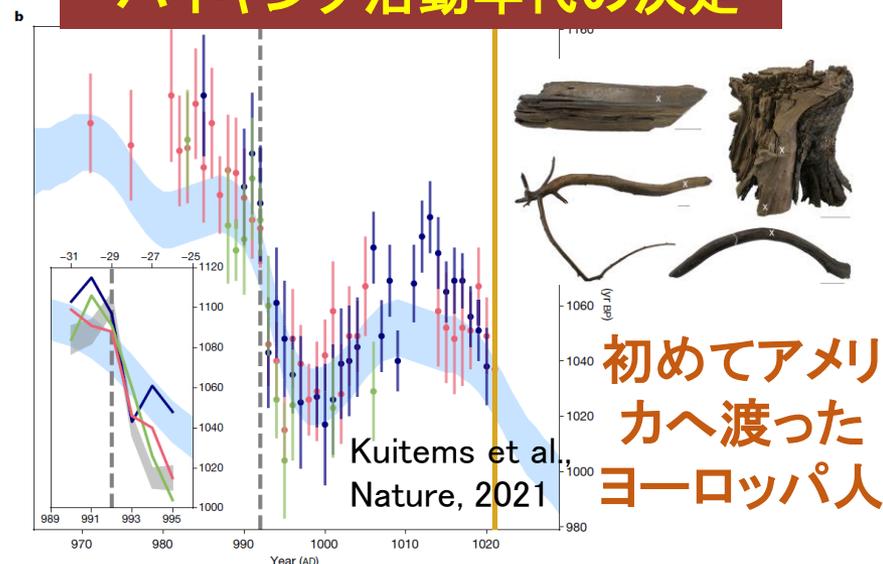


世界最大級の
巨大噴火
(過去2000年)

噴火年代 西暦946年

歴史分野への応用例

バイキング活動年代の決定



伐採年 西暦1021年

極端太陽面爆発の痕跡: タイムマーカーとしての利用

→ 地域・試料種によらない世界初の指標

→ 年代測定、層序学、古環境学分野へ大きく貢献

国際共同研究

2015～2016年：アリゾナ大学、ETH Zurichに滞在・研究
→人脈、研究の幅が広がる

海外滞在時の人脈を生かす

2018年：ISEE国際ワークショップ*

2021-22年：ISSI国際ミーティング

2022年：ISEE国際共同研究*

* ISEE共同利用・共同研究

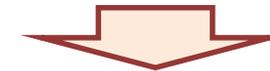
nature 2012年

Published: 03 June 2012

A signature of cosmic-ray increase in AD 774-775 from tree rings in Japan

Fusa Miyake , Kentaro Nagaya, Kimiaki Masuda & Toshio Nakamura

Nature 486, 240-242(2012) | [Cite this article](#)

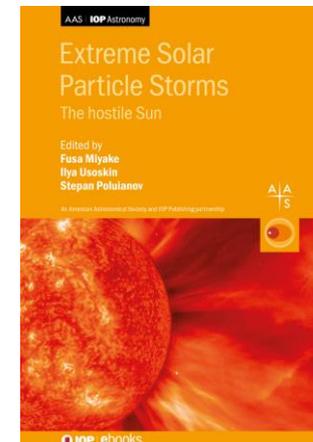


国際共著率増加

Geophysical Research Letters 2021年

A Single-Year Cosmic Ray Event at 5410 BCE Registered in ¹⁴C of Tree Rings

F. Miyake¹ , I. P. Panyushkina², A. J. T. Jull^{3,4}, F. Adolphi⁵, N. Brehm⁶, S. Helama⁷ , K. Kanzawa¹ , T. Moriya⁸, R. Muscheler⁹ , K. Nicolussi¹⁰ , M. Oinonen¹¹ , M. Salzer², M. Takeyama⁸, F. Tokanai⁸, and L. Wacker⁶ 



国際ワークショップの成果：極端太陽面爆発に関する著書出版 (F.Miyake+ eds.)

北極域におけるブラックカーボンの精密観測

名古屋大学 宇宙地球環境研究所

大畑 祥

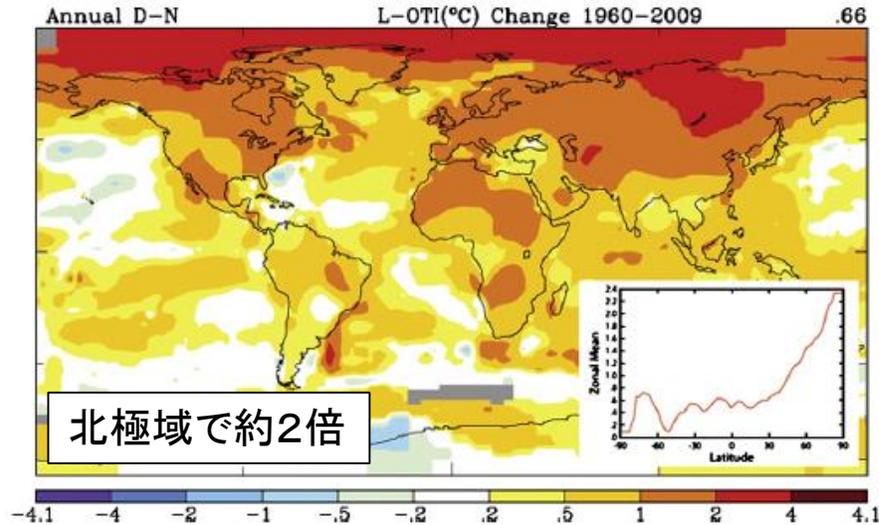
2022年12月9日

文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

(公開用資料)

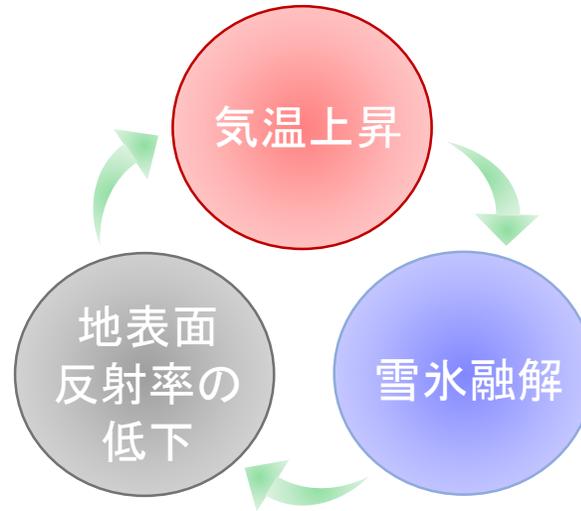
急速に温暖化が進む北極：ブラックカーボンはその一因か？

1960-2009 の地表気温増加(°C)

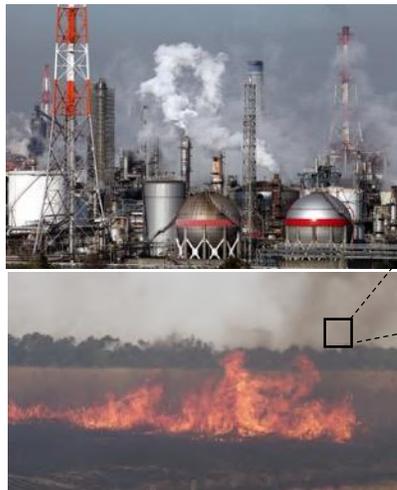


Serreze and Barry, 2011

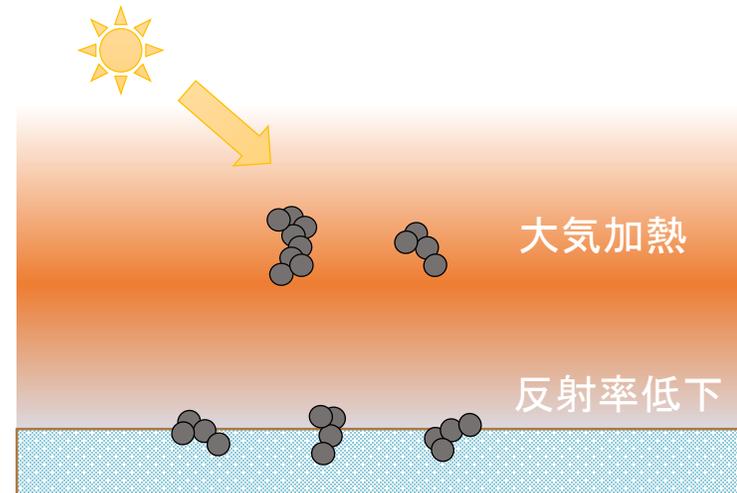
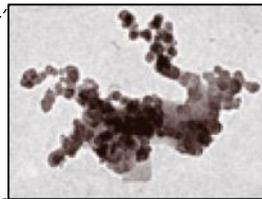
アイス-アルベド フィードバック



人間活動や森林火災で発生し北極域に輸送されたBCが、北極温暖化を加速



ブラックカーボン (BC)

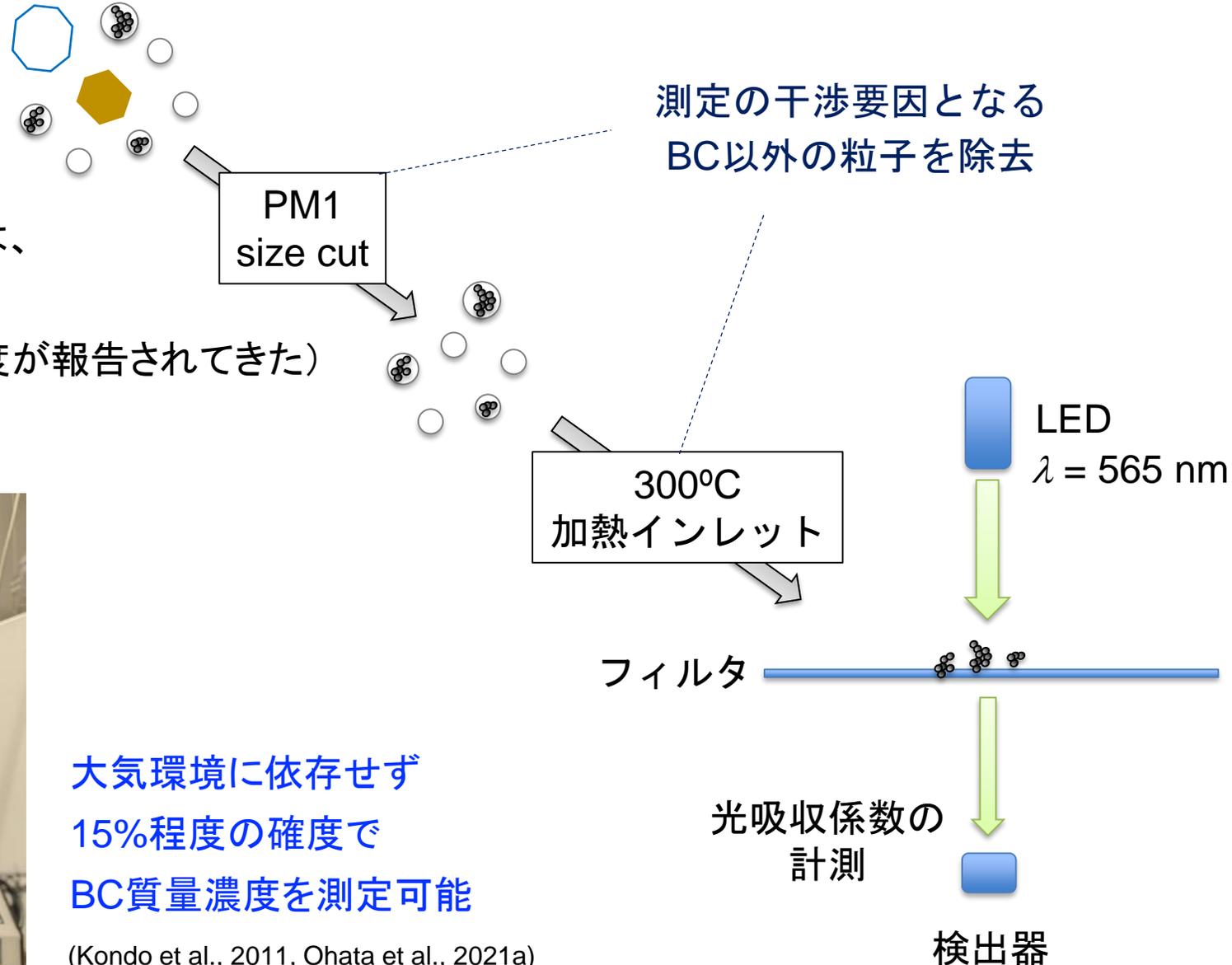
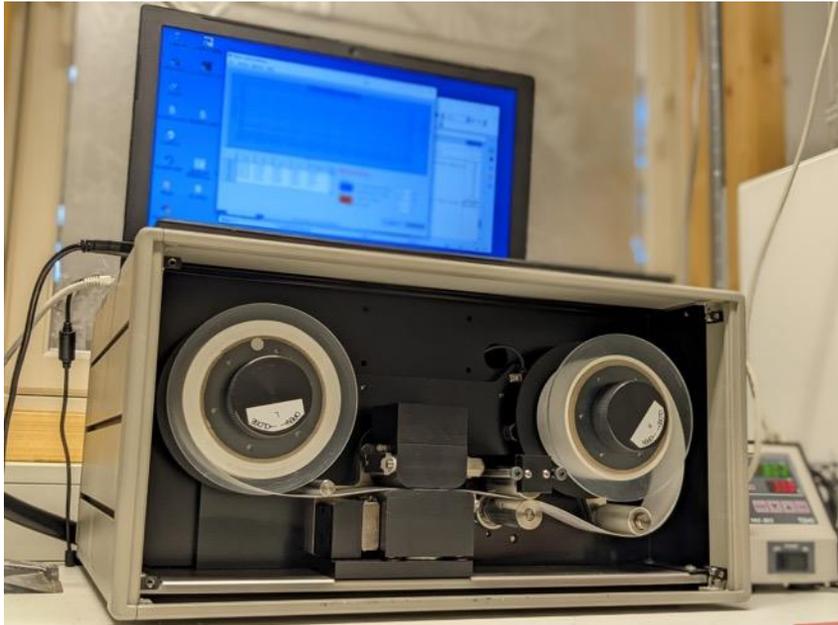


北極域におけるブラックカーボンの精密観測(地上): COSMOS

・BCの気候影響を推定するため、北極域におけるBC質量濃度の正確な観測が必要である

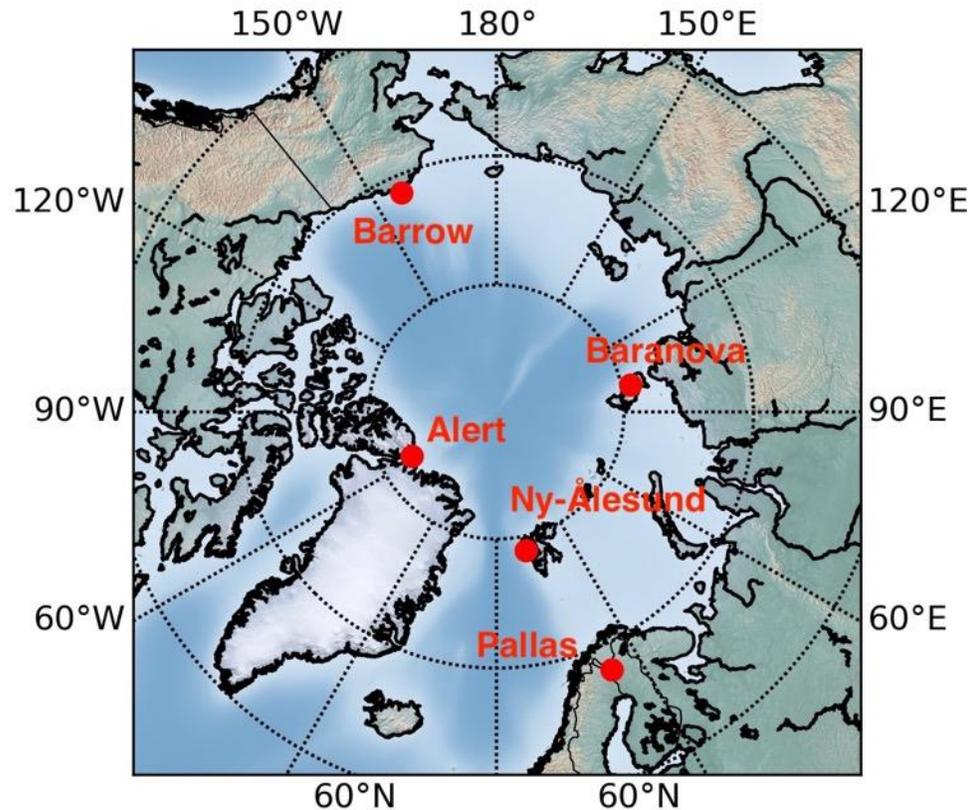
・これまでに各国により使用されてきたBC測定器は、十分に観測値の信頼性が検証されていなかった
(それぞれ独自の「変換係数」を用いてBC質量濃度が報告されてきた)

BC 測定器 COSMOS



北極域におけるブラックカーボンの精密観測(地上): COSMOS

北極域5ヶ所において
COSMOSによる長期観測を実施中



- ・6ヶ国(日本・カナダ・フィンランド・米国・スウェーデン・ギリシャ)の共同研究者とともに、COSMOSを基準としたBC質量濃度の標準化に関する論文を出版
- ・異なる測定器や場所で観測されたBCについて、統一されたスケールでBC質量濃度を導出することが可能に

Atmos. Meas. Tech., 14, 6723–6748, 2021
<https://doi.org/10.5194/amt-14-6723-2021>
© Author(s) 2021. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Atmospheric
Measurement
Techniques
Open Access
EGU

Estimates of mass absorption cross sections of black carbon for filter-based absorption photometers in the Arctic

Sho Ohata^{1,2,★}, Tatsuhiro Mori^{3,4,★}, Yutaka Kondo^{5,★}, Sangeeta Sharma⁶, Antti Hyvärinen⁷, Elisabeth Andrews^{8,9}, Peter Tunved^{10,11}, Eija Asmi⁷, John Backman⁷, Henri Servomaa⁷, Daniel Veber⁶, Konstantinos Eleftheriadis¹², Stergios Vratolis¹², Radovan Krejci^{10,11}, Paul Zieger^{10,11}, Makoto Koike³, Yugo Kanaya^{13,14}, Atsushi Yoshida⁵, Nobuhiro Moteki³, Yongjing Zhao¹⁵, Yutaka Tobo^{5,16}, Junji Matsushita⁵, and Naga Oshima¹⁷



北極域におけるブラックカーボンの精密観測(航空機)

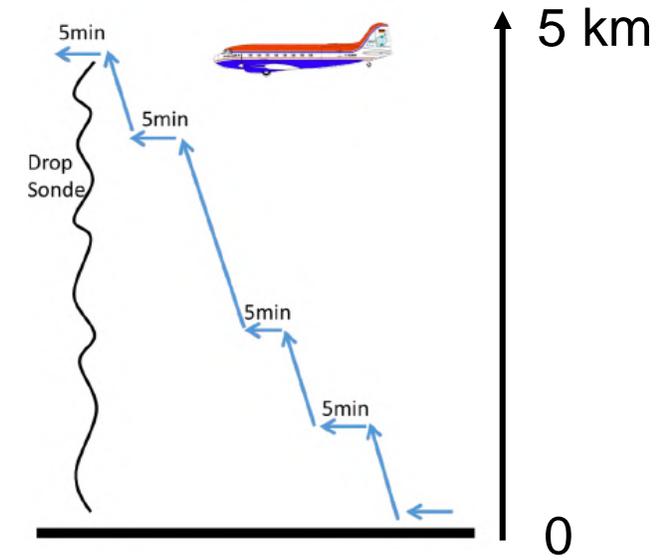
地表付近だけでなく、高度方向のBCの分布の観測もBCの気候影響評価にとって重要

→ 航空機を用いた観測

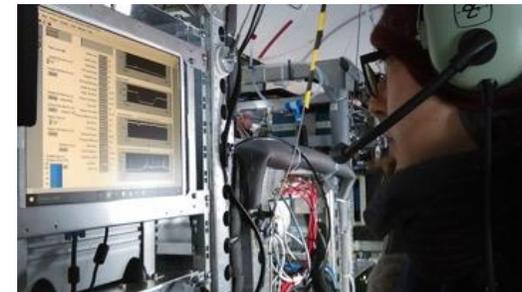
国際共同観測 PAMARCMiP 2018に参加

- ~2017年12月 日本で観測準備
- 2018年1~2月 ドイツで観測機器を搭載
テストフライト
- 2018年3~4月 グリーンランドにて観測

ドイツの観測専用航空機 Polar-5

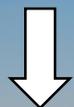


高度5kmまでのBC等の高度分布



北極域 上空

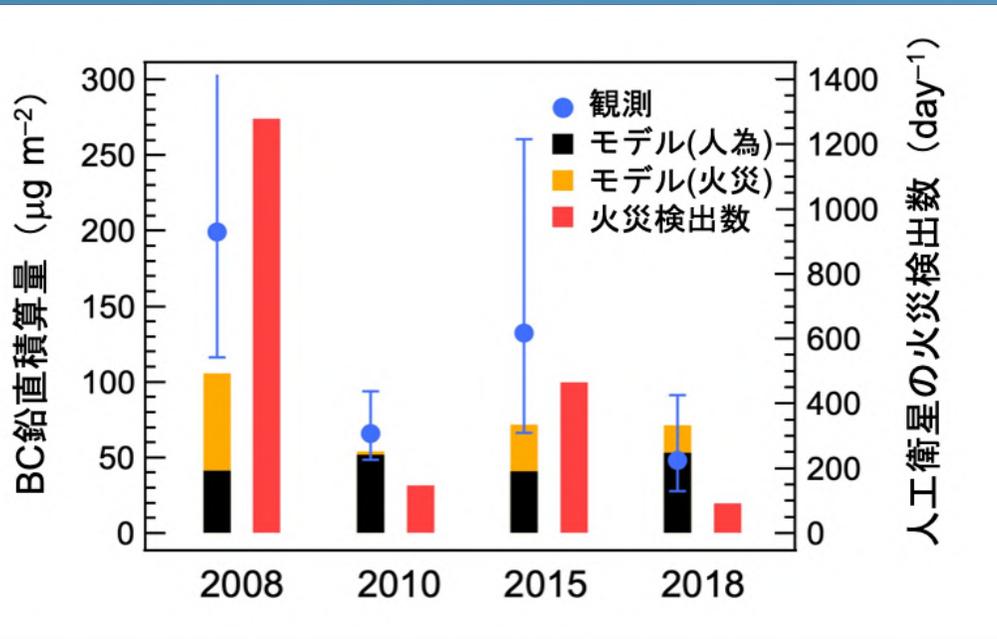
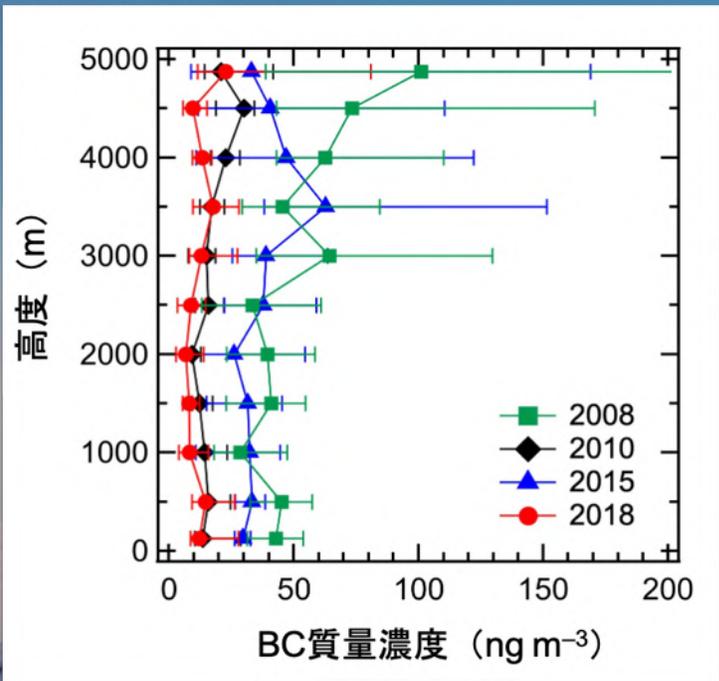
中緯度の森林火災で発生し
北極域に輸送された汚染大気の層



観測用航空機

北極域 上空

森林火災の発生規模の年々変動が
春季の北極域の黒色炭素粒子の
濃度・大気加熱量を強く支配する



Ohata et al., 2021b
名古屋大学プレスリリース

観測用航空機

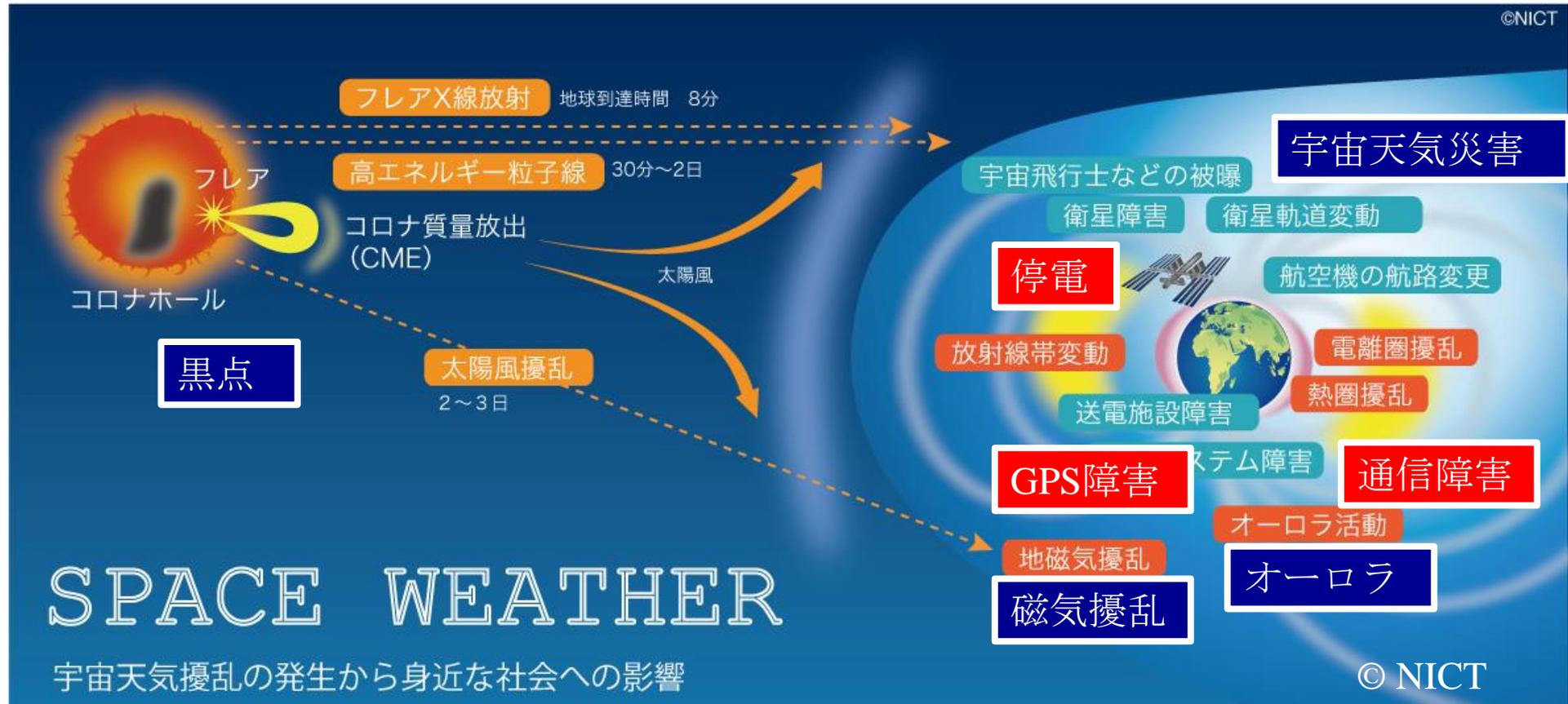
歴史文献による過去3000年間の 激甚太陽嵐の調査と定量復元

早川尚志

名古屋大学 高等研究院/宇宙地球環境研究所

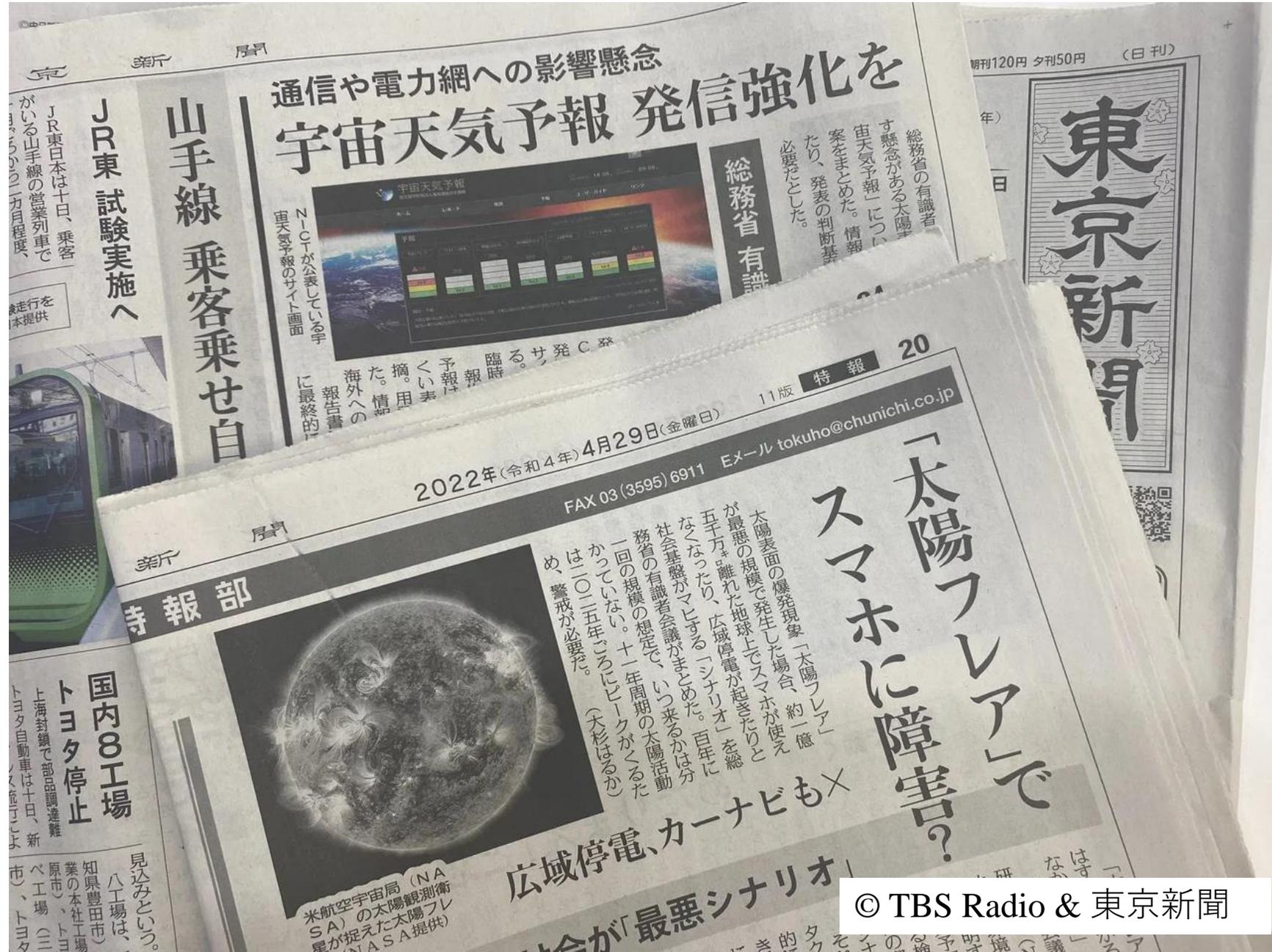
2022年12月9日

激甚太陽嵐：新たなる世界的課題

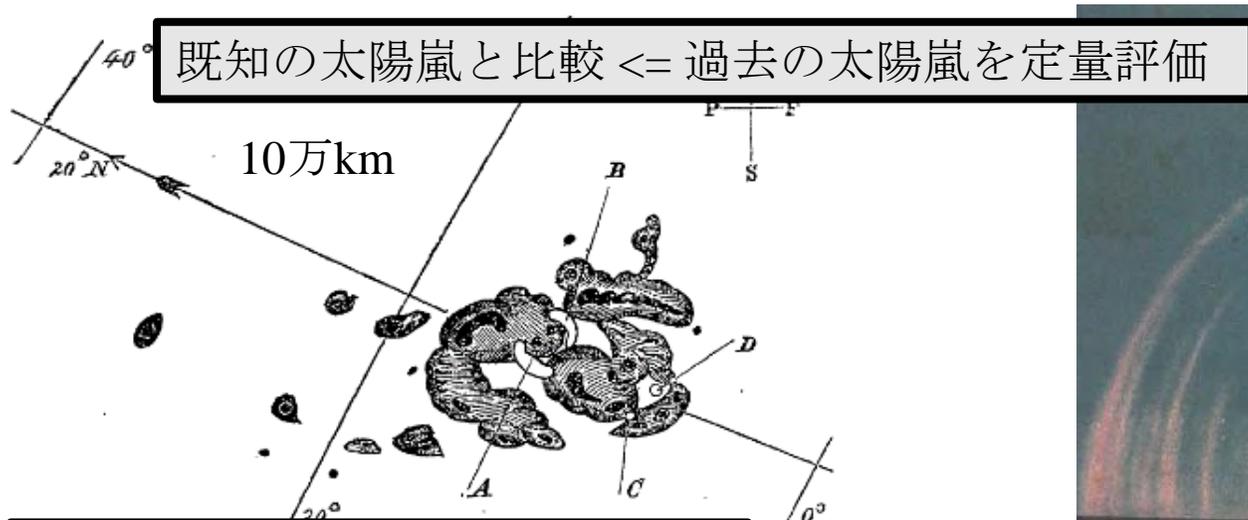


- 太陽嵐 => 地球近傍の環境を激変： e.g., 磁気擾乱、オーロラ
- 過去最大規模の太陽嵐は一撃で日本の国家予算数年分程度の経済被害をもたらす可能性 (National Research Council, 2008) => 高度に電子化した現代社会にとっての差し迫った脅威
- 限られた発生頻度と限られたDBの時間幅 (~ 65年) => 長期観測の必要性

本邦総務省も本格的対策を開始

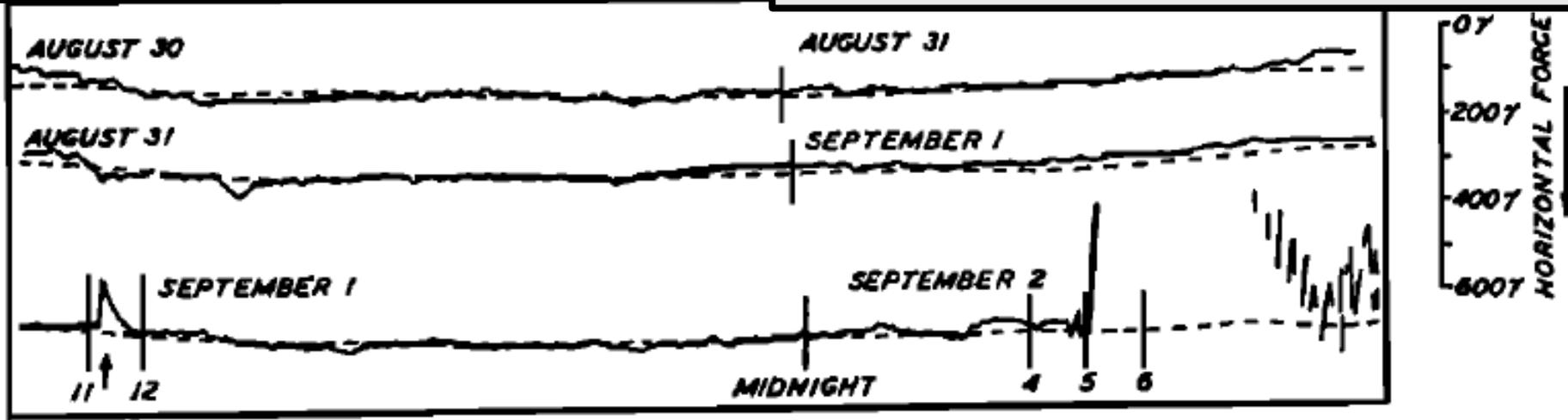


激甚太陽嵐の手掛かり



黒点 => フレアエネルギーの上限
太陽嵐のトリガー

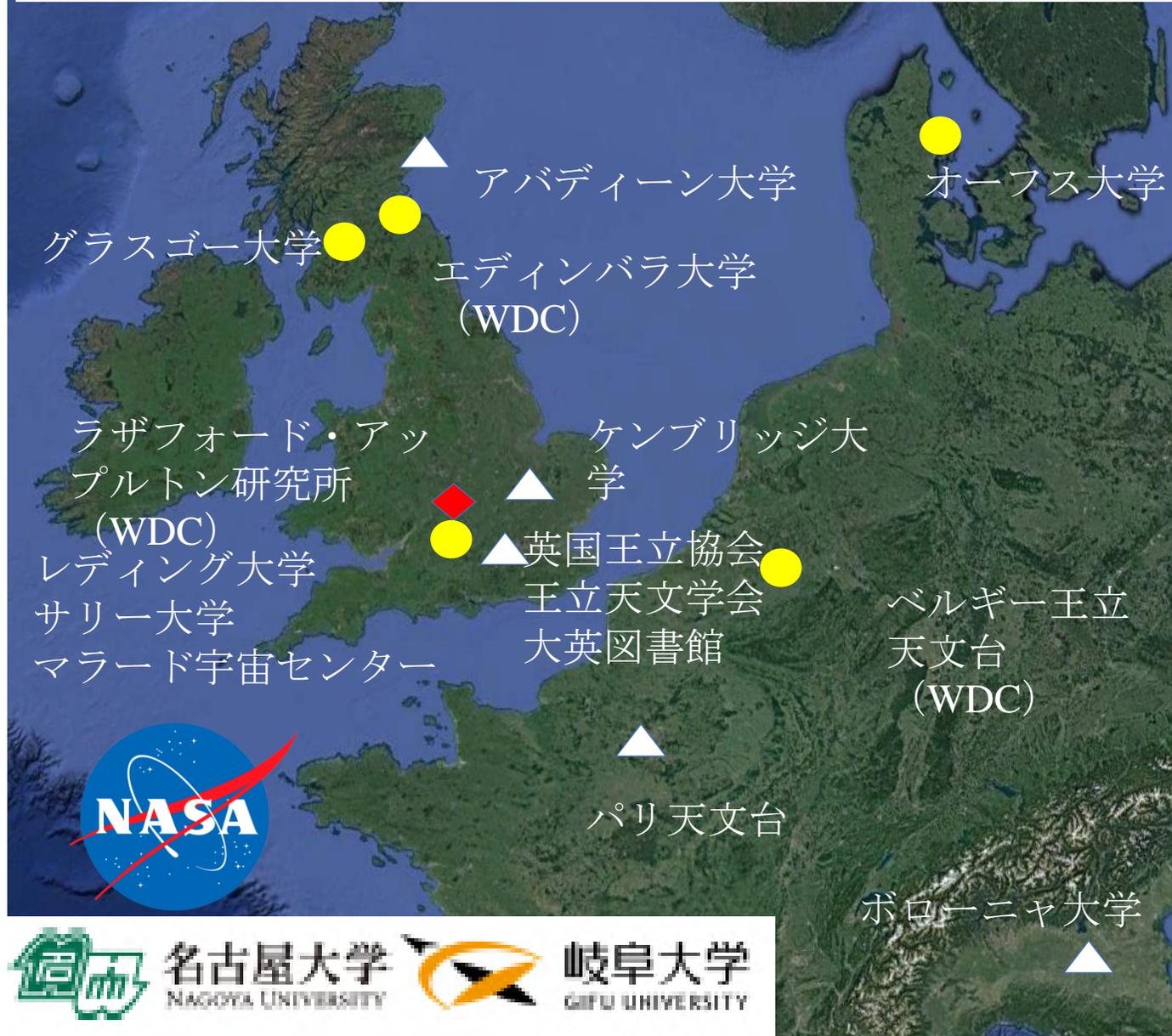
オーロラの低緯度境界 => 磁気嵐の規模推定



SFE => フレアの下限規模推定

磁力観測 => 磁気嵐の規模復元

日欧米で文理をまたぐ国際共同研究



◇RAL

△文書館

○研究拠点

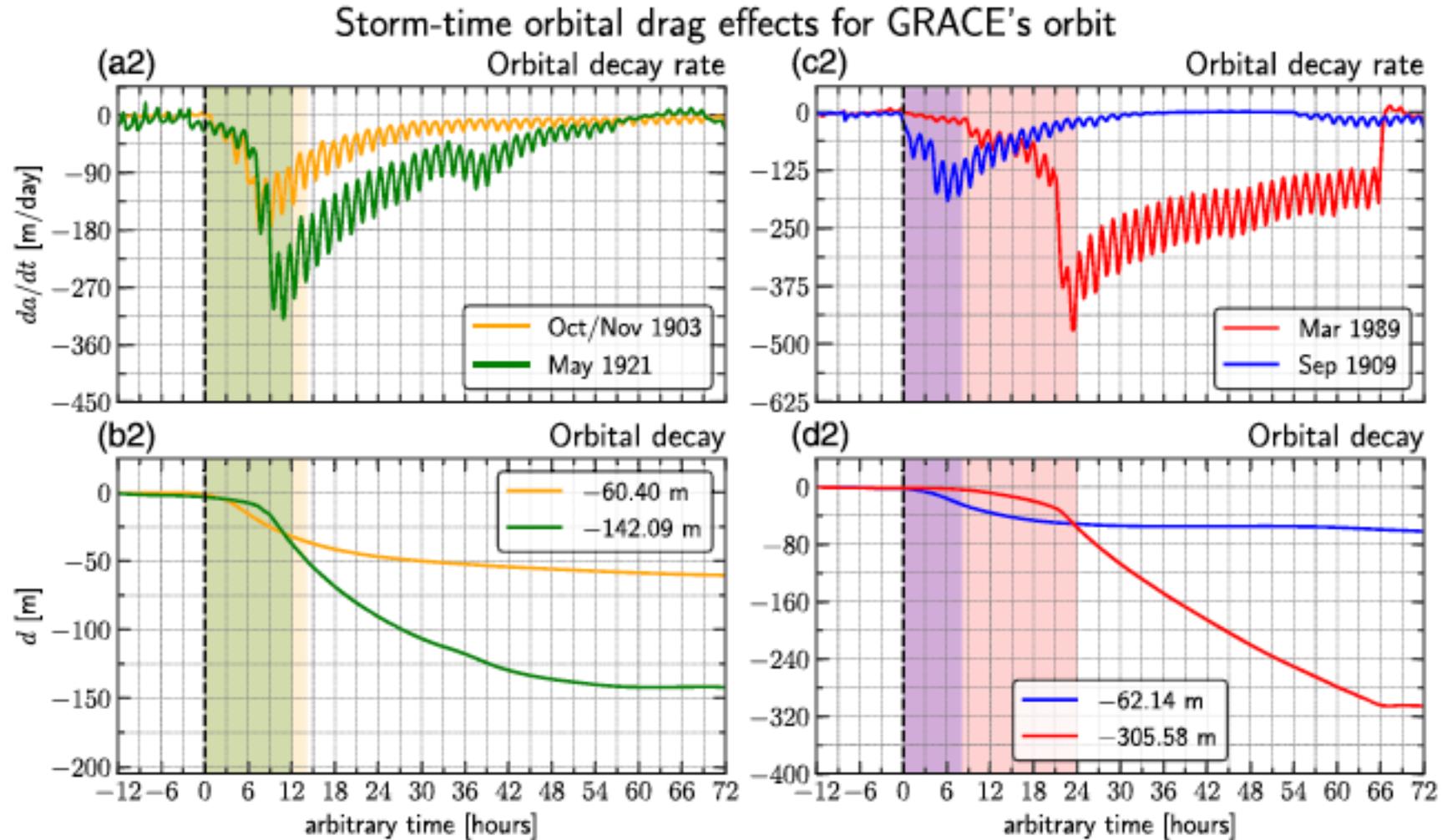
⇒欧州側はいずれも
RALに在籍すること
で、アクセスが
劇的に容易になる

⇒欧州各国のアーカ
イヴに眠る歴史文
献から過去の太陽
嵐の様子を復元

これまでの研究成果

- 過去の太陽嵐を歴史文献から復元
 - 現代観測と歴史文献の架橋 => 1957-1958年のオーロラ復元 (Hayakawa+2022b)
 - 太陽嵐の時間軸の極限へ => ~~過去2500年~~ 過去3000年 (Van der Sluijs & Hayakawa 2022)
 - 太陽嵐の規模の極限へ => 史上最大の磁気嵐 (1859-09-02) の各種規模推定を根本改訂 (Hayakawa+2020d, 2022a)
 - 学内の学際共同研究 => YLC共同研究 + 若手新分野創成研究ユニット
- 研究成果：文理双方で広く研究成果を発表
 - 主著論文：18報 => BBC、日経サイエンスなど世界中で反響
- 主な獲得予算
 - 2020.04~2022.03：科研費 研究スタート支援
 - 2021.04~：科研費 若手研究
 - 2021.06~：ISEE所長リーダーシップ経費
 - 2022.01~：知の開拓者
 - 2022.04~：若手新分野創成研究ユニット

激甚太陽嵐の影響：人工衛星の運命 歴史文献データをNASAのシミュレーションに応用



GRACE：高度500 kmの低軌道衛星を飛行、地球の重力場を計測
激甚太陽嵐の際の人工衛星高度変化のシミュレーションも始まっている
元になってるのは歴史文献由来のデータ (Oliveira, Zesta, **Hayakawa** & Bhaskar 2020)



世界的な研究インパクト

特集 スーパーフレア

巨木の年輪に刻まれた太陽の異変 古文書が助けた科学解析

1000年を経た巨木や昔の人々が記した書物の中には、太陽で超巨大な爆発現象が起きた証拠が残されている。

日経サイエンス

中島林彦 (編集部)
協力: 三宅美沙 / 早川尚志 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

中世に出現したオーロラ
11世紀初めにラテン語で書かれた中世ドイツ・サクセンの年代記(写本)には、992年12月26日夜にオーロラとみられる現象が目撃されたとの記述がある。画像はその記述があるページで、下から7行目から5行目にかけて、次のような内容が記されている。「夜明け前、北の方角に太陽のような光が上り、1時間ほど輝き続けた。夜間は赤く染まり、やがて消えていった」。

42 日経サイエンス 2022年4月号

ギリシア・アテネ天文台での一般講演



刊行論文 2020

- 20a) **Hayakawa, H.**, Ribeiro, P., Vaquero, J. M., *et al.* (2020a) The Extreme Space Weather Event in 1903 October/November: An Outburst from the Quiet Sun, *The Astrophysical Journal Letters*, **897**, L10. DOI: 10.3847/2041-8213/ab6a18
- 20b) **Hayakawa, H.**, Ebihara, Y., Pevtsov, A. A., *et al.* (2020b) Intensity and time series of extreme solar-terrestrial storm in March 1946, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **497**, 5507–5517. DOI: 10.1093/mnras/staa1508
- 20c) **Hayakawa, H.**, Owens, M. J., Lockwood, M., Sôma, M. (2020c) The Solar Corona during the Total Eclipse on 1806 June 16: Graphical Evidence of the Coronal Structure during the Dalton Minimum, *The Astrophysical Journal*, **900**, 114. DOI: 10.3847/1538-4357/ab9807
- 20d) **Hayakawa, H.**, Ribeiro, J. R., Ebihara, Y., Correia, A. P., Sôma, M. (2020d) South American auroral reports during the Carrington storm, *Earth, Planets and Space*, **72**, 122. DOI: 10.1186/s40623-020-01249-4

刊行論文 2021

- 21a) **Hayakawa, H.**, Lockwood, M., Owens, M. J., *et al.* (2021a) Graphical evidence for the solar coronal structure during the Maunder Minimum: comparative study of the total eclipse drawings in 1706 and 1715, *Journal of Space Weather and Space Climate*, **11**, 1. DOI: 10.1051/swsc/2020035
- 21b) **Hayakawa, H.**, Blake, S. P., Bhaskar, A., *et al.* (2021b) The Extreme Space Weather Event in 1941 February/March, *The Astrophysical Journal*, **908**, 209. DOI: 10.3847/1538-4357/abb772
- 21c) **Hayakawa, H.**, Schlegel, K., Besser, B. P., Ebihara, Y. (2021c) Candidate Auroral Observations Indicating a Major Solar–Terrestrial Storm in 1680: Implication for Space Weather Events during the Maunder Minimum, *The Astrophysical Journal*, **909**, 29. DOI: 10.3847/1538-4357/abb3c2
- 21d) **Hayakawa, H.**, Hattori, K., Pevtsov, A. A., *et al.* (2021d) The intensity and evolution of the extreme solar and geomagnetic storms in 1938 January, *The Astrophysical Journal*, **909**, 197. DOI: 10.3847/1538-4357/abc427
- 21e) **Hayakawa, H.**, Kuroyanagi, C., Carrasco, V. M. S., *et al.* (2021e) Sunspot Observations at the Eimmart Observatory and its Neighbourhood during the Late Maunder Minimum (1681 – 1718), *The Astrophysical Journal*, **909**, 166. DOI: 10.3847/1538-4357/abd949

刊行論文 2021

- 21f) **Hayakawa, H.**, Iju, T., Murata, K., Besser, B. P. (2021f) Daniel Mögling's sunspot observations in 1626 - 1629: A manuscript reference for the solar activity before the Maunder Minimum, *The Astrophysical Journal*, **909**, 194. DOI: 10.3847/1538-4357/abdd34
- 21g) **Hayakawa, H.**, Iju, T., Uneme, S., *et al.* (2021g) Reanalyses of the Sunspot Observations of Fogelius and Siverus: Two “Long-Term” Observers during the Maunder Minimum, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **506**, 650-658. DOI: 10.1093/mnras/staa2965
- 21h) **Hayakawa, H.**, Uneme, S., Besser, B. P., Iju, T., Imada, S. (2021h) Stephan Prantner’s Sunspot Observations during the Dalton Minimum, *The Astrophysical Journal*, **919**, 1. DOI: 10.3847/1538-4357/abee1b
- 21i) **Hayakawa, H.**, Iju, T., Kuroyanagi, C., *et al.* (2021i) Johann Christoph Müller’s Sunspot Observations in 1719 – 1720: Snapshots of the Immediate Aftermath of the Maunder Minimum, *Solar Physics*, **296**, 154. DOI: 10.1007/s11207-021-01880-8
- 21j) **Hayakawa, H.**, Sôma, M., Kinsman, J. H. (2021j) Analyses of a datable solar eclipse record in Maya Classic period monumental inscriptions, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **73**, L31–L36. DOI: 10.1093/pasj/psab088

刊行論文 2022

- 22a) **Hayakawa, H.**, Nevanlinna, H., Blake, S. P., *et al.* (2022a) Temporal Variations of the Three Geomagnetic Field Components at Colaba Observatory around the Carrington Storm in 1859, *The Astrophysical Journal*, DOI: 10.3847/1538-4357/ac2601
- 22b) **Hayakawa, H.**, Ebihara, Y., Hata, H. (2022b) A Review for Japanese auroral records on the three extreme space weather events around the International Geophysical Year (1957 – 1958), *Geoscience Data Journal*, DOI: 10.1002/GDJ3.140
- 22c) **Hayakawa, H.**, Oliveira, D. M., Shea, M. A., *et al.* (2022) The Extreme Solar and Geomagnetic Storms on 20-25 March 1940, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, DOI: 10.1093/mnras/stab3615
- 22d) **Hayakawa, H.**, Murata, K., Sôma, M. (2022) The Variable Earth's Rotation in the 4th — 7th Centuries: New ΔT Constraints from Byzantine Eclipse Records, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **134**, 094401. DOI: 10.1088/1538-3873/ac6b56

主な共著論文

- VH22) Van der Sluijs, M. A., **Hayakawa, H.** (2022) A candidate auroral report in the Bamboo Annals, indicating a possible extreme space weather event in the early 10th century BCE, *Advances in Space Research*, DOI: 10.1016/j.asr.2022.01.010
- CH20) Cliver, E. W., **Hayakawa, H.**, Love, J. J., Neidig, D. (2020) On the Size of the Flare Associated with the Solar Proton Event in 774 AD, *The Astrophysical Journal*, **903**, 41. DOI: 10.3847/1538-4357/abad93
- OH20) Oliveira, D. M., Zesta, E., **Hayakawa, H.**, Bhaskar, A. (2020) Estimating satellite orbital drag during historical magnetic superstorms, *Space Weather*, **18**, e2020SW002472. DOI: 10.1029/2020SW002472
- 他10報告 (2020-2022)