

## 5-4 過去の宇宙天気資料電子化プロジェクト

### 5-4 Digitalization of Historical Space Weather Records

塩田大幸 坂口歌織 福永 香

SHIOTA Daikou, SAKAGUCHI Kaori, and FUKUNAGA Kaori

情報通信研究機構 (NICT) では、過去 70 年以上前から電波通信の監視が継続されており、その活動は現在の宇宙天気予報に受け継がれている。当時のデータが紙に印刷された状態で倉庫に保管されている。宇宙天気じょう乱の源となる太陽活動は直近の第 24 太陽活動周期ではこの数十年で最も活動度が低かった。今後、太陽活動が上昇すると、宇宙利用が高度化した社会インフラが宇宙天気じょう乱の影響を大きく受ける可能性があるため、太陽活動度の高い時期の宇宙天気影響についての知見を深める必要がある。本研究では、紙に印刷され保管されていたデータを今後の研究に利用するため、電子化を進めている。本稿では、その背景と現在デジタル化の終わったデータの一部を紹介する。

In NICT, the monitoring of high frequency radio telecommunication has been conducted for more than 70 years, and it has been passed on to the present space weather forecast. The past space weather data used in the monitoring are stored in a paper form. The solar activity of the Cycle 24 is lowest in 70 years. If the solar activity increases much higher in the future, infrastructures highly depending on space technology might be severely damaged. We must study space weather conditions in much higher solar activity for the future. In this project, we have been digitalizing the paper-printed space weather data for use in future space weather studies. Here, we describe the background and show samples of the digitalized data.

#### 1 まえがき

宇宙天気は、太陽から流れ出す「太陽風」の変動、それに加えて、爆発現象「太陽嵐」=「太陽フレア・コロナ質量放出 (CME)」の影響を受ける。これらが地球に到来したときに磁気圏・電離圏に大規模なじょう乱(磁気嵐・電離圏嵐)を引き起こし、その影響が地上の送電網や通信・測位の乱れにつながることもある。最近では 2017 年 9 月に約 11 年ぶりとなる巨大な太陽嵐 (X9.3 太陽フレア) が発生し、日本で GPS の誤差増大が発生し社会的に注目を集めたことは記憶に新しい [1]。準天頂衛星測位システムに代表されるように宇宙利用の高度化が近年急速に進んでおり、社会インフラの宇宙天気じょう乱に対する脆弱性も併せて急速に増大している。一方で宇宙天気は航空管制の測位・通信・被ばくにも影響を及ぼすため、国際民間航空機関 (ICAO) では航空運用の通常業務において宇宙天気情報の利用を開始する制度決定がなされ、2019 年 11 月 7 日より情報発信が始まった [2]。

このように宇宙天気の社会的重要性が高まる一方で、

極めて大規模な太陽嵐は地震や台風や火山噴火と同じく自然災害という側面を持つ。規模の大きさに比例して社会的影響が地球規模まで大きくなるため、アメリカ合衆国政府がまとめた Strategic National Risk Assessment[3] の中では、地震や洪水等と併記されて、宇宙天気が自然災害リスクの一つとして認定されている。例えば、1989 年 3 月に発生した大規模な磁気嵐ではカナダケベック州で広域の大停電が発生し約 600 万人がその影響を受けた [4]。このイベント以外にも地上の送電設備等に影響が及んだ記録がある。歴史的には、更に大規模な太陽嵐が 1859 年に発生したことが観測されており、その際、赤道付近でオーロラが観測され、電信設備が発火したという記録が残されている [5]。もし当時よりも社会インフラがはるかに高度に発展した現代において、同規模の現象が発生すれば、電力・衛星・通信分野で全世界的に損害が発生する大災害となる可能性もある。次の段落で述べるように、幸いにも第 24 太陽活動周期 (2008 ~ 2019 年) は過去の太陽活動周期に比べて活動度が低下していたため全体の発生頻度が低く、最大規模の X9.3 フレア太陽嵐でも深刻な障

害・社会影響を引き起こすほどではなかった。

図1は太陽黒点数の推移を示す。大規模な太陽嵐は黒点付近で発生するため、太陽黒点数の推移が太陽活動度の指標となっており、およそ11年ごとに増減を繰り返している。図1下段に1940年からのグラフを拡大したものを示し、前述の地上の送電設備等に影響が及んだ記録のある時期を示した。このように、必ずしも太陽黒点数が極大になることと地上に影響が及ぶ大規模な太陽嵐の発生とは、時期が一致しているわけではないが、黒点数が比較的多い時期に発生している。その一方で、各周期の極大の黒点数は活動周期ごとに変動していて、1980年以降の4周期で徐々に減少するのに伴い、その結果として大規模な太陽嵐の発生数も減少してきた。実際に、第24周期ではX線強度がX10クラスを超える太陽フレアは一度も発生しなかった。この傾向がこのまま続くかどうかは定かではないが、図1の270年間の黒点数の推移からも明らかのように、太陽活動度が今後再び増大する可能性もある。その結果、これまで経験したことのある巨大太陽嵐と同規模の現象が発生したとしても、社会情勢の違いから甚大な影響が及ぶ可能性は十分にある。そのために、過去に実際に太陽で発生したことがある太陽嵐とその影響を把握し、その危険性があれば警鐘を鳴らす体制を整えることは我々の責務であるといえる。

そこで我々は、第24太陽周期よりもはるかに太陽活動が活発で、大規模な太陽嵐が多数発生していた過去の太陽周期のデータを現在の知見に基づいて解析を行うための環境を構築すること、そのデータ・環境を用いた事例解析を行うことを目的とし、その第一歩として、紙に印刷・記入された形で保存されていた過去の宇宙天気観測・予報データをデジタル化・デコード化して、ウェブ経由でアクセスを可能にする環境を構築する。

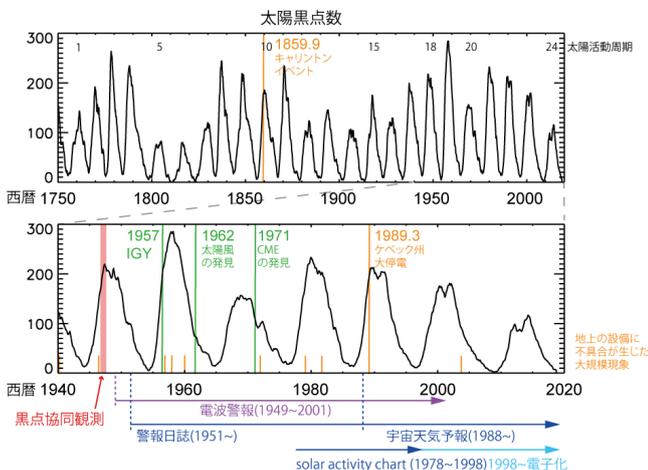


図1 太陽黒点数の推移(ベルギー王立天文台)と宇宙天気観測及びNICTの宇宙天気研究活動

## 2 宇宙天気予報黎明期の観測データ

太陽や宇宙天気の観測技術は、20世紀前半までは地上の太陽望遠鏡など手段は限られていた。しかし、1957年の国際地球観測年(IGY)を機に世界的な観測網が整備され、宇宙機による観測の発展から、太陽風の発見[6]、宇宙空間からのコロナグラフ観測によるCMEの発見[7]が続き、1990年代以降の宇宙観測の拡充とともに、電離圏じょう乱をはじめとする宇宙天気現象が太陽からのガスの流れと磁場によることが徐々に理解されてきた。人工衛星による宇宙空間からの観測の技術は時代とともに向上してきており、現在は非常に豊富な観測情報がほぼリアルタイムで手にすることができる。2010年に打ち上げられたNASAの太陽観測衛星Solar Dynamics Observatory(SDO)により大量の太陽観測データがリアルタイムで供給され始めて、宇宙天気予報の環境が劇的に向上し現在にいたる。巨大太陽嵐が発生していた1940年代~1990年代は、地上からの観測が主流であり、当時その観測情報及び各局の予報情報は当時海外の宇宙天気の監視を行っていた研究機関との間で専用のTelex回線を通じて毎日情報交換を行っていた。その記録(URSIgram code)が、印刷された当時の紙でNICT本部(小金井)4号館1階のC2センター資料室に保管されていた。平成30年度にその資料室で眠っていた歴史的に貴重なデータを世に出すことを希望したことが本研究の着想に至った経緯である。発見当時はカビなど紙資料の劣化が激しいものがあつたため、デジタル化作業に耐える程度の修復を施した(例:図2~4)。まず初めにデジタル化を行った資料は、1978~1998年の期間に作成された27日ごとの観測データをグラフにまとめたSolar activity chart(図3)である。このチャートは、上段が太陽の北半球の黒点群(活動領域とも言う、四角記号)と太陽フレア(丸記号)(縦軸が経度、横軸が日時)、中上段が太陽の南半球の黒点群と太陽フレア、中下段が平磯で観測された電離圏のじょう乱及び気象庁柿岡観

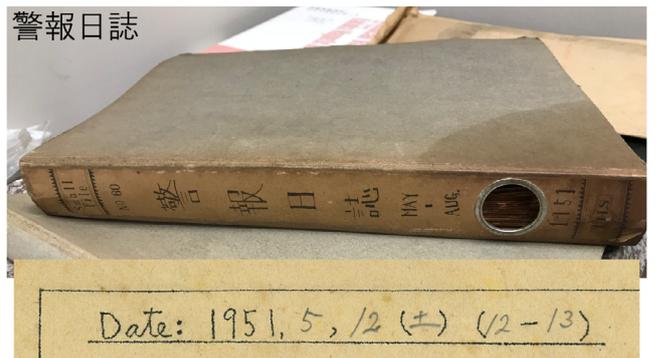


図2 修復前の電波警報日誌の最も古い資料

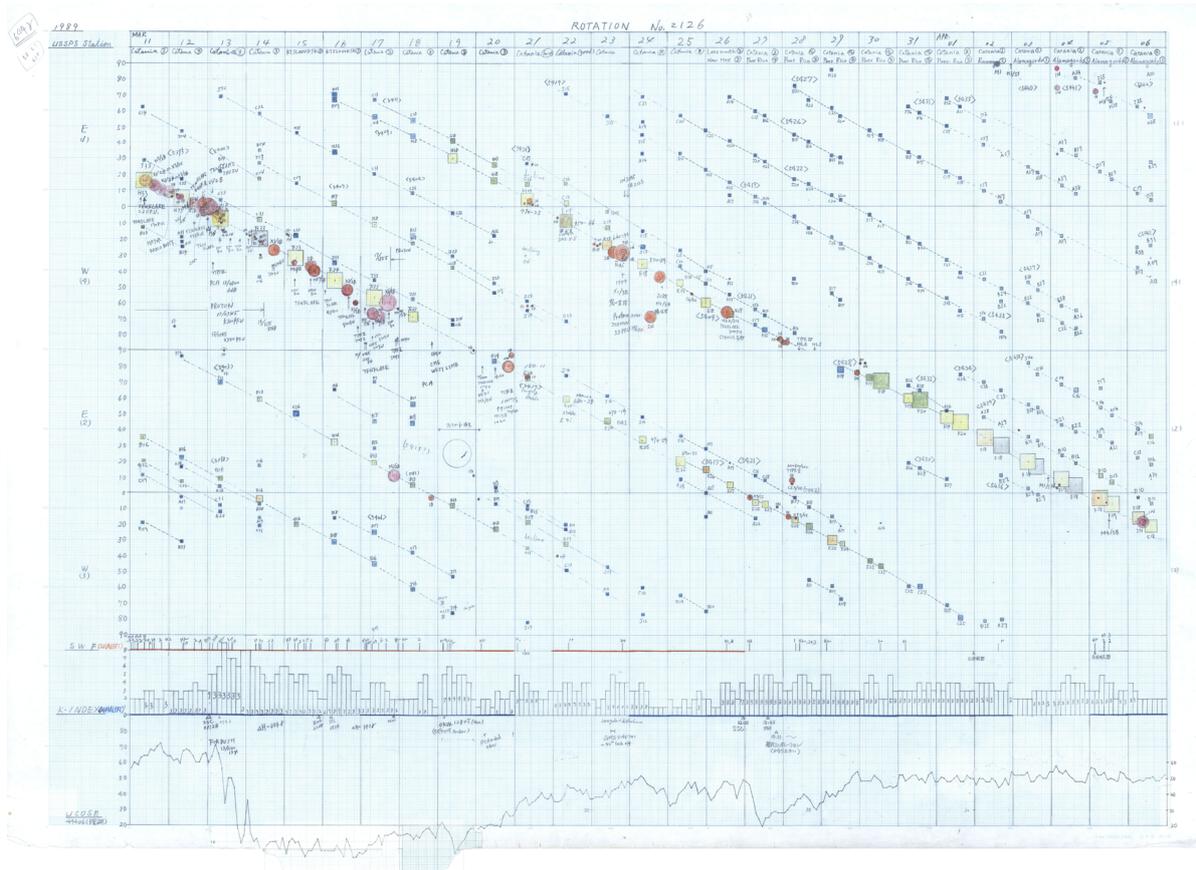


図3 カナダケベック州大停電を引き起こした太陽嵐現象を含む1989年3月のSolar activity chart

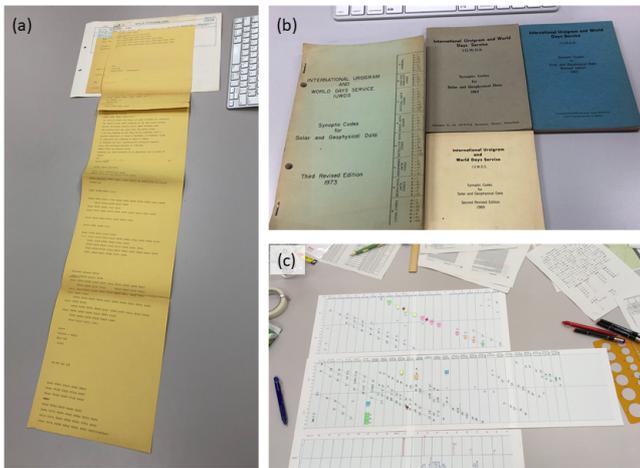


図4 保存されていたTelex (a)、URSIgram code book (b)、再現した solar activity chart (c)。

測所で観測された地磁気の活動度を示す。一番下は、理化学研究所で計測された銀河宇宙線の強度のグラフになっている。黒点群が日を追うごとに太陽の自転とともに経度が西から東に移動するために、太陽の段には斜めの軌道が見えている。大きな活動領域の周りでは大きなフレアが発生している様子を見ることができ、一部の太陽フレアに伴い、直後に電離圏じょう乱が発生、数日後に地磁気じょう乱と電離圏じょう乱が発生、また地球周辺をCMEが通過する時に銀河宇宙線の強

度が著しく低下する現象 Forbush decrease の発生も確認できる。これらのスキャンデータの閲覧用ウェブページ(Historical Spaceweather Viewer: <https://wdc.nict.go.jp/hsv/>)を作成し、一般に公開を始めた。

次に URSIgram code のマニュアル等の資料(図4 b)のデジタル化に着手した。マニュアルについては、URSIgram code が策定された1963年以降改訂が複数回行われ、そのたびに新しいものが発行され保管されていた。ソフトカバーのマニュアルの状態の劣化が進んでおり、今後のデコードの作業中の参照が容易になるように、すべてのマニュアルの電子化を行い、Historical Spaceweather Viewer のページにて公開している。

Telex 用紙で保存されている観測データのコード(図4 a)のデジタル化については、紙資料の分量が膨大であるため、特筆すべき巨大な太陽嵐が発生した1972年前後、1982年前後、1989年3月という限定した期間のデータを対象とした。このデジタル化した画像データは、OCRで自動読み取りではエラーが頻発するため、目視によるコードの読み取りを行った。

読み取った URSIgram code を観測情報にデコードしたデータベースを作成した。さらに、そのデータを基に Solar activity chart を手書きにて試作した(図4 c)。今

後この作業を自動化し、年代を遡って Solar activity chart をデジタルで作成、Historical Spaceweather Viewer の中で公開する準備を進める。

### 3 警報日誌

現在の NICT が行っている「宇宙天気予報」業務の歴史をたどると、その前身は、昭和 24 年(1949 年)12 月に開始された電波庁電波部資料課による「電波警報」業務であることが分かってきた。日本国内の電波予報・電波警報に関わる取組は、終戦に近い昭和 20 年(1945 年)7 月頃に文部省学術研究会議の元に短波無線障害予知班が結成されるなど、戦中・戦前に記録を遡ることが可能ではあるはずだが、ここでは割愛する。

電波警報の発出記録が記録された警報日誌は、NICT 本部(小金井)4 号館 1 階の C2 センター資料室に、当時の担当者が手書きで記録したと思われる紙のファイルが保管されている。石橋主任研究員(当時)によると、これらは 2016 年に閉所された平磯太陽観測施設(茨城県ひたちなか市平磯町)の図書室から移動された資料の一部とのことである。2020 年に同施設は解体され現在は敷地一体が更地となっている。現時点で見つけることができた最も古い日誌の日付は 1951 年 5 月 12 日(土)である(図 2)。この日誌には、太陽活動・地磁気・地電流・電離層・電波強度に関する最新の情報と共に電波警報の発出記録が記されている。しかしながら、実は、この最も古い日誌には太陽活動や地磁気活動の予報発出記録は記載されていなかった。

宇宙天気予報業務の前身が電波警報業務であることを説明するには、まず電波警報業務について知る必要がある。電波警報業務とは、電波通信状態が不安定になっている場合、もしくは不安定になるであろうと予想された場合に、電波通信利用者に対して提供する警報・予報情報のことである。電波通信による情報伝達は、インターネットが存在していない時代、遠方と即時に情報を交わす唯一の手段であり、産業・災害・軍事等へ非常に重要な役割を担っていた。電波を用いる通信手段を、常に安定的に利用するには、電波を反射させる電離層の状態を熟知し、周波数や強度を調整する必要がある。そこで、電波予報によって通信可能な周波数帯等が通知されていた(月刊電波予報の創刊は 1947 年 5 月)。しかしながら、電波予報で予報されている周波数を利用すれば電離層が平穏な時は能率的に通信ができるが、地磁気嵐や太陽フレアなどの突発現象が発生により電離層は平穏状態から大きく変動し通信が途絶えてしまうことがあった。そのような突発的な現象を予知して、あらかじめ通信障害の警告をするのが電波警報業務の役目であった。最初の電波警報は、

標準電波 JJY に「W(激しい通信嵐)」「U(不安定な状態)」「N(平穏な状態)」のモース符号の重畳発射することにより、通信状態を電波利用者に到達されていた。電波警報を速やかに発令するには、電波伝搬(電離層)に影響を及ぼす突発的な太陽面現象・地磁気変化・電離層変化に関する最新の情報をより早くより多く収集し、その推移を予測する必要があった。この取組が、太陽フレア及び地磁気じょう乱自体を予報することが目的である現在の宇宙天気予報の前身であると考えられる。

図 5 に警報日誌の記録誌フォーマットの変遷をまとめた年表を掲載する。宇宙環境予報の発出記録は、ADVKO に始まるメモ書きとして記されているのが 1957 年頃の警報日誌の裏面に見つかった。その後、1958 年の日誌からは表面に「ADVKO」を記載する欄が通常フォーマットとして用意されているのが分かった。URSIgram コードブック [8](図 4)によると、ADV は Advice の意味で KO は発出場所の Kokubunji(当時の所在地、東京都北多摩郡国分寺町)を意味する。警報日誌の内容やフォーマットについては、IGY や URSIgram の策定・改訂等、太陽・地球観測に関わる連動した黎明期に高頻度で改訂が行われ、初期の日誌の内容を理解するには、まずデコードが必要である。しかしながら、現在見つかった最も古いコードブックは 1963 年版であり、それ以前の記録を正確に理解するためには、今後更に古い時代のコードブックを見つける必要がある。

図 6 は ADV\*\* に関する 1963 年版の URSIgram コードブックの該当頁を示す。この頁では世界各地の警報センターから発出される宇宙環境警報(Geophysical Alert、通称 GEOALERT)の共通フォーマットが定義されている。1963 年当時の地域警報センターは、アンカレッジ、ベルボア、ボルダー(米国)、ダルムシュタット(ドイツ)、国分寺(日本)、モスクワ(ロシア)、ネーデルホスト・デン・ベルグ(オランダ)、パリ(フランス)、ストックホルム(スウェーデン)、シドニー(オーストラリア)の世界 10 か所に存在していたこと

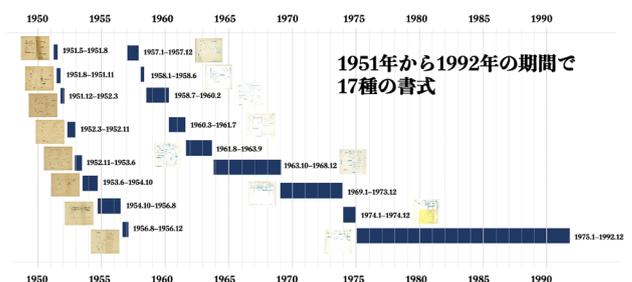


図 5 警報日誌の変遷の年表 <https://wdc.nict.go.jp/hsv/about/>

がわかる。警報対象となる現象は、「MAGSTORM (地磁気嵐)」、「SOL ACTIVITY (太陽活動)」、「COSMIC EVENT (宇宙線イベント)」等の発生であり、これらの発生の開始日や終了日が強度「FORTE (強い)」または「PIANO (弱い)」と共に予報され、各地域警報センターの予報判断が共有されていたと思われる。ただし、現象発生及び強度を規定する具体的な基準 (観測場所及び手段等) や数値は明記されていない。

図7に1957年以降の警報日誌から読み取った宇宙天気予報の発出履歴を示す。上段は太陽フレアの発生が

予報された日数、下段は地磁気じょう乱の発生が予報された日数を示す。1957年から1968年の灰色の棒の高さはADVKOで、「ALBEG (アラート開始)」または「ALCON (アラート継続)」と記載されている日数である。この時期はアラートの対象現象が太陽フレアの発生であるか地磁気嵐の発生であるかが明確に記述されていないことがほとんどであった。そのため灰色の棒グラフは両方の現象の予報を含んだ数である。No dataと記載されている1959年2月から1963年12月の期間はGEOALERTに関する記述が見つからない。特に1960年3月から1961年7月の1年4か月間については警報日誌自体も保存が確認されていない。電波研究所20年史[9]によると、昭和36年5月(1961年5月)に一時中止されていたアドバイス業務再開との記載があることから一部の期間は何らかの理由でGEOALERTに関わる業務が停止していた可能性があるが、更なる調査が必要である。1969年以降は、警報

B.V.1  
ADVICE FROM REGIONAL WARNING CENTERS

Code 1. ADV--

1. Content.

- Notification of Geophysical Alerts or Suggested Retrointervals
- Type and importance

2. General form.

ADVaa bbbbb(type) (dddd) (eeff/) (month) JJHHg

key word and Regional Warning Center giving advice

3. Definition of symbols.

ADV = ADVice  
aa = Regional Warning Center giving advice  
AN = Anchorage MO = Moscow  
BE = Belvoir (AGIWARN) NE = Nederhorstdenberg  
BO = Boulder PA = Paris  
DA = Darmstadt ST = Stockholm  
KO = Kokubunji SY = Sydney

bbbb = code word as defined below  
ALADA = advise issue GEOALERT of same type as the ADALERT issued today in this region  
ALNIL = advise no GEOALERT  
ALBEG = advise begin GEOALERT of type mentioned in next group of message  
ALCON = advise continue GEOALERT of type in progress  
ALFIN = advise finish GEOALERT of type in progress  
REPRE = we predict MAGSTORM for the future period given by "eeff/"  
RETRO = dates given in "eeff/(month)" groups suggested as possible RETROINTERVAL

(type) = added word with ALBEG or RETRO and signifies type of GEOALERT advised (MAGSTORM, MAGCALME, SOLCALME, SOLACTIVITY OR COSMIC EVENT) or type of RETROINTERVAL advised (IONOMAGSTORM, INTERPLANET, QUIETSUN, MICRO-PULSATION or RIOMETER)

(dddd) = strength of opinion, when desired  
FORTE = strong  
PIANO = weak

(ee = date of start of period for REPRE or RETRO  
ff = date of finish of period for REPRE or RETRO  
/) = always an X (or slant line in teletype message)

(month) = if advice is RETRO the month should be indicated for complete clarity of dates suggested for RETROINTERVAL

JJ = UT date advice given  
HH = UT hour advice given  
g = always a "0".

図6 IUWDSが1963年に出版したURSIgramコードブックのGeophysical Alert (GEOALERT)に関する頁

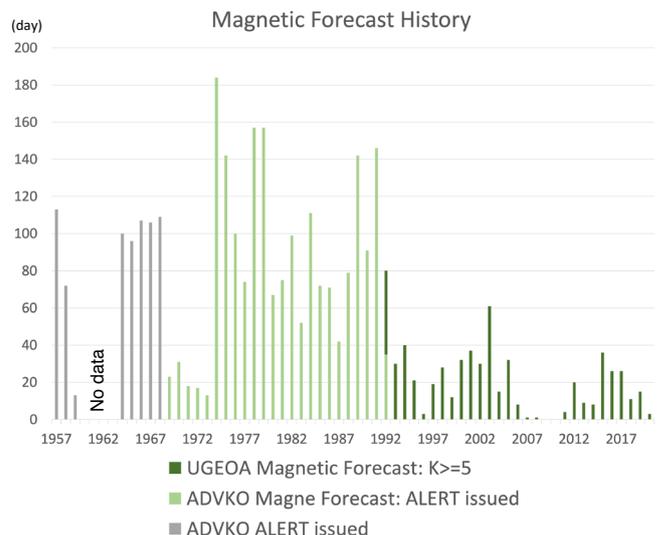
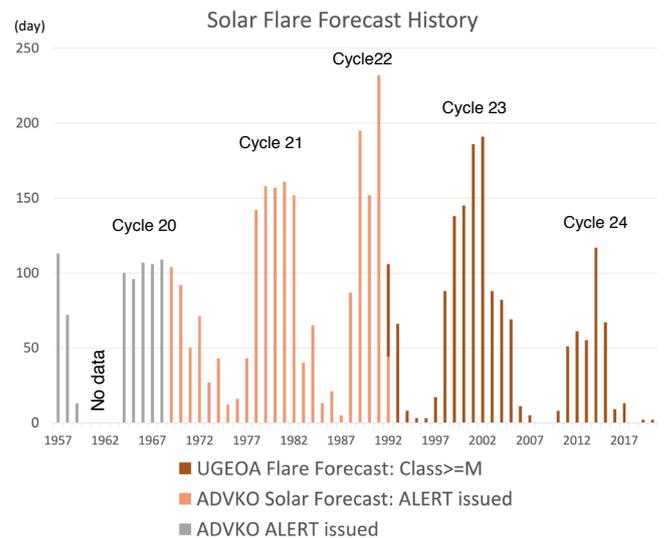


図7 1957年から2020年までの宇宙天気予報(上段:太陽フレア、下段:地磁気)の発出履歴(RWC Japan)

日誌にGEOALERTの対象現象について「FLARE EXPECTED」「MAGSTORM EXPECTED」等と、明確に記載されるようになった。まだ1974年以降は、太陽現象と地磁気現象を明確に分けてGEOALERTが発出されるようにコードの定義自体が変わっている [10]。ADV KとしてGEOALERTが発出されたのは、その後、1993年までである。

1993年3月以降からは、IUWDSにより新コードUGEOAが制定され、予報対象と基準が不明確であったADV\*\*コードに変わり、具体的な基準(観測場所及び手段等)や数値での情報交換がされるようになった [11]。UGEOAはIUWDSの後継組織であるISES(International Space Environment Service)でも継承され、現在も加盟国間との宇宙天気予報情報の交換はUGEOAが利用されている。図7の1993年から2020年の棒グラフの高さは、UGEOAのデータベースからMクラス以上のフレアが予報された日数とK指数5以上が予報された日数を示す。ADV KとUGEOAは予報の基準が異なるため、発生日数の年変化を定量的に比較することはできないが、太陽サイクル20~24の約5サイクル(約60年)に渡って、太陽活動の増減に伴うアラート発出日数の相対的な増減があることがグラフから見て取れる。日本でGEOALERTの発出が開始された時期については、まだ分かっていない。しかしながら、日本でのURSIgram放送は1932年に端を欲することが記録されているため、1957年以前のGEOALERTについては警報日誌以外のどこかに記録が残されている可能性もある。

#### 4 1947年巨大黒点群観測記録

警報日誌やTelexといった連続的なデータとは異なるが、1946~1947年に国立天文台との黒点協同観測の記録なども見つかった。その中でも1947年初頭の4太陽自転周期の間存在した活動領域(黒点群)は、記録上最大規模の活動領域と知られており [13]、その手書きの観測記録を発見した(図8 a,d)。数か月に及ぶ連続観測の記述とともに太陽フレアの発生位置も同時に記録があり、今後の研究が進められる貴重な資料であるため、スキャンした画像と国立天文台の観測データ(図8 b,c)とともに当時の記録をそのまま引用する。

1. 2月5日頃太陽東縁に出現した黒点群は小黒点の鎖状群であったが、急激に発達し、子午線経過の11日頃には著しく面積を増大し二つの非整形の主要黒点から成る一群に見えた。この黒点群は3月3日再び東縁に現れたが、この時は二つの主要黒点の一つに結合し一大黒点を形成していた。然もその面積はさらに増大していてその子午線経過の3月10日頃には、その総面積は

見かけの太陽面の1.1%に達し、近年にないものとなった。その後中央部のやや前方附近が次第にクビれて西縁近くで分裂して二つの非整形の主要黒点を作った。

次の出現は3月31日頃であったが、驚くべきことには、この黒点群はさらに発展し二つの主要黒点の隔距離も増大した。子午線経過の4月7日頃には太陽面の15%に達した。

しかし、子午線経過の後、ややその活動に減衰を示し、次の出現には驚嘆すべき減衰を示し、僅かに遠く隔てた場所にふたつの小黒点群を残すに過ぎなかった。

出現の各回に於ける子午線経過当時の状況は図(図8 a)において示した。ここで注意すべきは、発達初期では先行黒点が後続黒点よりも優勢であったが形成された大黒点の分裂後は後続黒点<sup>すくな</sup>がその面積も著しく大きいことである。

2. 爆発現象の観測は2月に於いては極めてその回数が少く、その他でも天候等の為十分ではないが、第1回は3ヶ、第2回は14ヶ、第3回は19ヶ、第4回は1ヶ観測された。それに日付を依ってその位置を示した。観測が十分ではないので到底結論

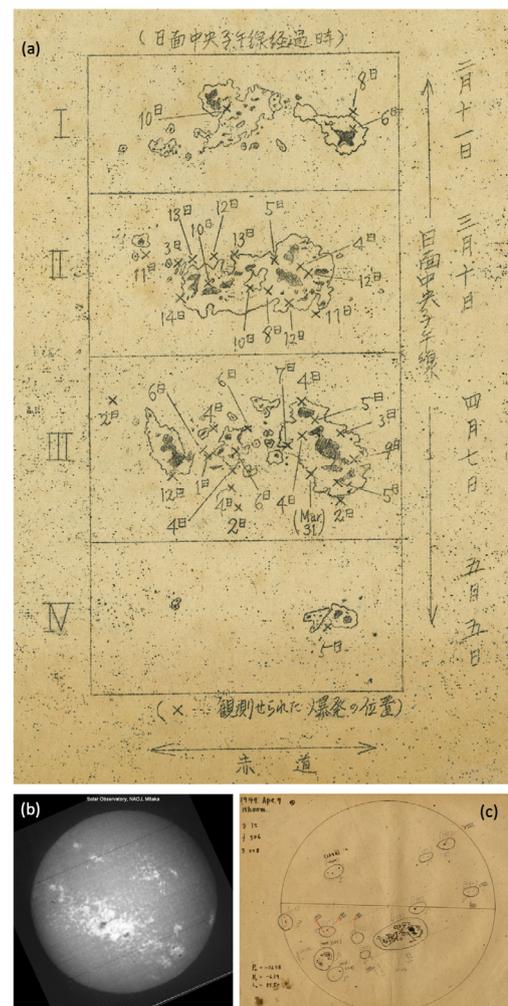


図8 1947年4月の史上最大規模の太陽黒点群の観測  
 (a) : NICT(当時: 逓信省平磯出張所)の黒点・太陽フレア観測記録。太陽の自転4周期分の太陽フレアとの日付と位置が示されている。  
 (b) : 彩層観測画像(国立天文台) [12] (c) : 黒点スケッチ(国立天文台) [12]。黒点スケッチは望遠鏡で投影を行うため、左右が反転している。

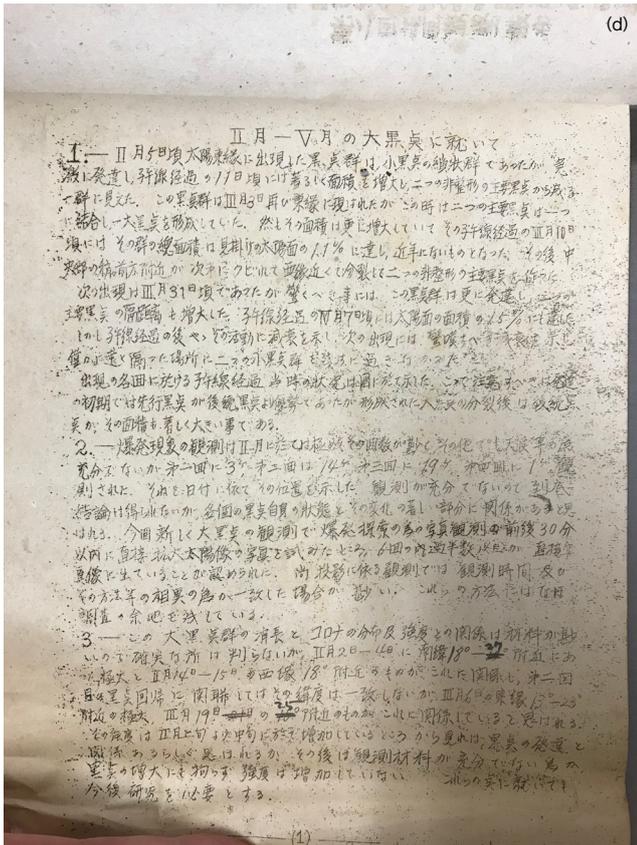


図8(続) 1947年4月の史上最大規模の太陽黒点群の観測  
(d): (a)の観測内容を記述した文書。

は得られないが、括弧の黒点自身の状態とその変化の著しい部分に関係があると思はれる。今回新しく大黒点の観測で爆発探索のための写真観測の前後30分以内に直接拡大太陽像の写真を試みたところ、6回の内過半数以上が直接写真像に出ていることが認められた。尚投影に依る観測では、観測時間及びその方法等の相違の為か一致した場合が少ない。これらの方法にはなほ調査の余地を残している。

- この大黒点群の消長とコロナの分布及強度との関係は材料が少いので確実な所は判らないが、2月2-4日に南緯18°-27°附近にあった極大と2月14-15日に南緯18°付近のものがこれに関係し、第2回目の黒点回帰かへんに關聯してはその緯度は一致しないが、3月6日の東縁南緯13°-23°附近の極大、3月19日の25°附近のものがこれに関係していると思はれる。その強度は2月上旬より中旬に於て増加しているところから見れば、黒点の発達と関係あるらしく思はれるが、その後の観測材料が十分でない為か、黒点の増大にも拘らず強度は増加していない。これらの点についても今後の研究を必要とする。

## 5 今後の展望

現在よりも太陽活動がはるかに活発であった時代の記録は、規模の大きな太陽嵐とその宇宙天気影響の事例の大量のサンプルであり、今後の宇宙天気研究に

とって貴重なデータとなることは間違いない。これらの大量のデータを整理し統計的に扱うことができるようにすることに加えて、WDC for Ionosphere and Space Weatherに蓄積されている電離圏観測データとの関係性を調べることで、太陽嵐と電離圏じょう乱との因果関係が見えてくる可能性がある。そのためのデータのデジタル化とデータベースの整備を今後も進めていく予定である。全てのデータを容易にアクセスできるようにデジタル化を進めるとともに、簡便に使用可能な検索機能を備えたデータベースとすることで、将来の宇宙天気予報で利用可能な過去の類似事例参照ツールとして構築することも目指している。Solar activity chartをベースとして作成したHistorical Spaceweather Viewerは、太陽-磁気圏-電離圏の現象を俯瞰して捉えることができるツールであり、このページからイベントの検索や各データへのアクセスへのリンクを埋め込むなど拡充を図ることで発展させていく予定である。

このような長期間にわたるデータは、観測手法の進展による品質の変遷が含まれている。このようなデータは統一的に扱うには難しいため、そのままではAIの学習データとして利用が難しい。観測技術の変遷の影響を解消してシームレスなデータベースを構築できれば、AIの学習データとしての利用が期待できる。

## 謝辞

本研究は、平成30年度電磁波研究所ファンド及び平成31(令和元)年度研究開発推進ファンド「TRIAL」の支援を受けて進めました。本研究を進める上でご協力をいただいた石井守電磁波伝搬研究センター長、久保勇樹宇宙天気予報グループリーダー、石橋弘光氏、丸橋克英氏には、この場を借りて感謝申し上げます。観測データを提供しているベルギー王立天文台、国立天文台に感謝申し上げます。

### 【参考文献】

- 1 [https://sw-forum.nict.go.jp/forum/2018/pdf/forum\\_presentation\\_1.pdf](https://sw-forum.nict.go.jp/forum/2018/pdf/forum_presentation_1.pdf)
- 2 <https://www.nict.go.jp/press/2019/11/07-2.html>
- 3 "The Strategic National Risk Assessment in Support of PPD 8: A Comprehensive Risk-Based Approach toward a Secure and Resilient Nation," 2011. <https://www.dhs.gov/xlibrary/assets/rma-strategic-national-risk-assessment-ppd8.pdf>
- 4 J. H. Allen, "Effects of the March 1989 solar activity," EOS, vol.70, pp.1479-1488, 1989. DOI:10.1029/89EO00409
- 5 <https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2014/01/Geomagnetic-Storms-Information-Sheet.pdf>
- 6 Neugebauer, M. and C. W. Snyder, "Solar Plasma Experiment," Science, vol.138, pp.1095-1097, 1962, DOI: 10.1126/science.138.3545.1095-a
- 7 Tousey R., "The solar corona" in Space Research XIII, edited by M. J. Rycroft and S. K. Runcorn, pp.713-730, 1973.
- 8 International Ursigram and World Days Service (I.U.W.D.S.), Synoptic Codes for Solar and Geophysical Data, 1963.

## 5 定常業務

- 9 “電波研究所二十年史,” 郵政省電波研究所, 1975.
- 10 International Ursigram and World Days Service (I.U.W.D.S.), Synoptic Codes for Solar and Geophysical Data Third Revised Edition, 1973.
- 11 International Ursigram and World Days Service (I.U.W.D.S.), Synoptic Codes for Solar and Geophysical Data RWC Tokyo
- 12 国立天文台太陽観測科学プロジェクト, 太陽活動データベース, <https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/database.html>
- 13 国立天文台太陽観測科学プロジェクト, 過去の大面積の黒点群 (1874–2016), <https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/bigspots.html>



**塩田大幸** (しおた だいこう)

電磁波研究所  
電磁波伝搬研究センター  
宇宙環境研究室  
主任研究員  
博士(理学)  
太陽物理学、太陽圏物理学



**坂口歌織** (さかぐち かおり)

電磁波研究所  
電磁波伝搬研究センター  
宇宙環境研究室  
主任研究員  
博士(理学)  
磁気圏物理学、超高層大気物理学



**福永 香** (ふくなが かおり)

電磁波研究所  
電磁波先進研究センター長  
博士(工学)、学士(造形)  
誘電絶縁材料、文化財科学