

社会インフラを護る宇宙天気インタプリタ

玉置 晋 (茨城大学), 石田 彩貴 (立正大学), 野澤 恵 (茨城大学)

1. はじめに～宇宙天気インタプリタとは

宇宙天気とは社会インフラに影響を与えるような宇宙環境変動を指す。社会インフラの現場において宇宙天気による災害を防護する為には、それぞれの現場において宇宙天気についての理解が必要であり、その指導的役割を担うのが「宇宙天気インタプリタ」である¹⁾。科学成果還元や広報活動やアウトリーチは重要と認識され、その内容も研究者から一方的発信でなく、一般社会からのフィードバックと双方向性が必要となっている。その双方向性を担うインタプリタ (IP: InterPreter) は、翻訳者、解説者と訳されることもあるが、ここでは広義の仲介者を指す²⁾。

2. 宇宙天気災害

「天災は忘れられたる頃に来る。」明治・大正期の科学者、寺田寅彦先生の警句といわれている。天災すなわち、自然による災害対して人々は、長い年月苦しめられ、科学技術の発達や防災意識の向上により減災に努めてきた。日本国内の自然災害には、防災白書や国土交通白書によると、水害（洪水、集中豪雨）、風害（台風、暴風、竜巻）、雪害（雪崩、雪荷重、雹）、雷、火災（森林火災、地震火災、雷火災）、土砂災害（地滑り、土石流、崖崩れ）、地震（地盤変動、液状化）、津波・高潮、火山（噴火、噴石、火山灰、山体崩壊、火砕流、火山泥流）などがある³⁾。

さて、これらの災害に新たなカテゴリを追加しようという動きがある。それが、本研究でテーマとする「宇宙天気災害」である。通信、放送、測位、宇宙からのリモートセンシングなど、宇宙の利用が社会の基盤として拡大すればするほど、宇宙環境擾乱の社会への影響が大きくなっていく。人工衛星や宇宙飛行士に対する宇宙放射線の影響はもちろんのこと、宇宙環境擾乱は地上の生活にも影響を与え、現代社会の基盤的技術に対して影響を及ぼす宇宙環境の変動を宇宙天気と呼ぶ⁴⁾。宇宙天気や社会インフラへの影響を経て、我々の生活へ影響を及ぼす（図2）。



図1 宇宙天気による社会インフラ，生活への影響

3. 宇宙天気災害に関する衛星運用現場への杞憂

玉置は、人工衛星運用の現場において、人工衛星から送られてきたテレメトリデータを解析し、人工衛星の健全性を評価する仕事を担う。その一環で、「宇宙天気アナリスト」としての活動を実践し、その職域の確立の途上にある。各種の宇宙環境計測データから、人工衛星運用に対する宇宙天気リスクを判断し、衛星オペレータに対して注意喚起を行っている¹⁾ (図2参照)。

The slide is titled '宇宙天気擾乱時の対応プロトコル (参考情報として提供)'. It includes a table with columns for '時系列' (Time Series) and '確認内容' (Confirmation Content). The table lists five response protocols (【対応1】 to 【対応5】) with their respective GOES and SOHO data points and actions. Below the table, a diagram shows the '現在の暫定対応' (Current Temporary Response) where the '宇宙天気アナリスト (私) がウォッチし、衛星オペレータに注意喚起ヒトが判断し、ヒトに指示を与えるのが効率的' (Space Weather Analyst (I) watches, satellite operators receive alerts, and humans make judgments and give instructions, which is efficient). A red arrow points to the '将来の仕事' (Future Work), which is '宇宙天気インタプリタが、研究者と協力してノウハウをAIに学習させ、その判断結果を確認する事が主な任務に' (The Space Weather Interpreter, collaborating with researchers, will learn know-how into AI, and its main task will be to confirm the judgment results).

時系列	確認内容
【対応1】 T ₀ : 太陽フレア発生	GOES 衛星 太陽 X線強度をウォッチ。コロナ質量放出 (CME) の発生確率の短時間型 (LDE) フェーズを確認。
【対応2】 T ₀ -30min: 太陽風電子ルギー粒子	GOES 衛星 静止軌道の陽子フラックスをウォッチしプロトンイベントを確認。
【対応3】 T ₀ -12h: H ₀ 型 CMEを確認。	SOHO 探査機 コロナグラフをウォッチし 衛星周辺に影響を及ぼす CMEを確認。
【対応4】 T ₀ -2day CME 衝撃波 (I1)	ACE 探査機 太陽風データをウォッチし ラグランジュポイント1 (地球から100万km上流) でのCME 衝撃波を確認。
【対応5】 T ₀ -2day +09min 磁気嵐	GOES 衛星 静止軌道の磁場、地上風測の磁場データより磁気嵐を確認。

図2 宇宙天気擾乱時の対応プロトコル (参考)

現在の人工衛星は平常時の宇宙環境に対して十分な耐性を持つよう設計されているため、衛星運用においては、宇宙天気をあまり意識していないというのが現状である。一方で、直近10年の宇宙環境は比較的静穏であり、現在運用中の人工衛星は激しい宇宙

宙環境擾乱（例：2003年ハロウィンイベント）に対して十分な経験がないと考えることもできる。これは衛星オペレータにおいても同様に言える。知識としては知っていても実際に大規模な太陽活動時の運用経験がないオペレータが増えてきており、宇宙環境擾乱の対応への検討が必要²⁾であるという認識はあるものの現場の組織的なアクションには至っていない。

しかし、宇宙天気アナリストが個人的に活動したところで、24時間週7日間休むことなく職務を遂行することは不可能であるし、フォローできる衛星オペレータチームはせいぜい2~3チームが限度である。よって、今後は衛星運用現場にて宇宙天気アナリストを育成していくことが必要である。宇宙天気アナリストが育つことで、宇宙天気データを現場で解釈し、宇宙天気災害に対して、早期に対処できる可能性を高めることを期待したい。

社会インフラ、生活全体においても同様の事がいえ、宇宙天気災害に対する予防、対処、復旧に寄与する人材の育成が必要であると考え。これを実現する為に、太陽物理学を専門とする共著者の野澤の研究室の門を叩いた。一方、茨城大学理学部野澤研究室では「宇宙天気防災学」の構築を目指しており、その一環で宇宙天気インタプリタの育成を担う議論に至っている²⁾。

4. 研究と実務間の死の谷（デスバレー）

人工衛星が運用される宇宙空間は、放射線環境であり、荷電粒子に起因した帯電・放電現象、若しくは材料の劣化や絶縁破壊により誤作動や故障するという事故が発生する。それでは、どのような放射線環境で事故のリスクが高くなるかは、衛星の耐放射線設計や運用条件により異なり複雑である。しかも、設計情報は機微である為、特別な契約が無い限り開示されることはなく、そこには情報の機密性による研究と実務の深い死の谷（デスバレー）が存在する。強力なトップダウンの号令がかからない限り、このデスバレーの突破は難しいだろう。

そして、もう一つの死の谷が存在する。それは、専門知識の溝である。現場からは専門用語やデータの見方がわからない、という声が聞こえてくる。宇宙天気研究が衛星運用現場に伝わっていない。これは研究者からの情報が衛星オペレータに「響く言葉（詩的な表現であるが科学的な内容も含まれる）」でないことと、同時に衛星オペレータが研究者に適切に情報を伝える術がないことが考えられる²⁾。

宇宙天気研究と実務間の 2つの死の谷（デスバレー）

9

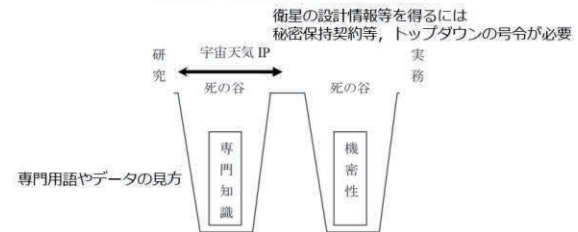


図1 宇宙天気における研究と実務の死の谷
宇宙天気研究が現場に伝わらない。現場の情報が研究者に伝わらない。

図3 宇宙天気における研究と実務の死の谷

図3に宇宙天気における研究と実務の死の谷の概念図を示す。2つの死の谷のうち、専門知識の谷は宇宙天気IPが飛べるのではないかと考える。

宇宙天気IPが研究者の言葉を宇宙天気ユーザである人工衛星オペレータの言葉に翻訳する作業とともに、また人工衛星オペレータから研究者へのフィードバック役を担う。衛星運用現場の宇宙天気IPは、組織の垣根を越えた役割を担う。宇宙天気災害と人工衛星の両方の知見を持つ必要があるが、それらは大学や職場で学ぶことになるが、残念なことに、宇宙天気災害を体系的に学べる大学は2019年現在、日本国内で見つけることはできない。

5. 茨城大学理学部野澤研究室のミッションと課題

宇宙天気は比較的新しい分野で、太陽物理や地球電磁気の研究分野だけでなく、宇宙工学的な知識も必要となる学際的な分野横断型の研究領域である。そして、宇宙天気の防災を対象に加えると、災害を防ぐという積極的な提案を含む非常に広範囲な面への対応が必要となり、極めて挑戦的な開拓が必要となる。当研究室は、茨城大学理工学研究科(理学野)地球環境科学領域の一教員が主催するものであり、専門は太陽物理である。太陽が地球に及ぼす影響を発端とし、宇宙天気を含めた研究を行なっている。

宇宙天気防災に関しては、この1、2年でだんだんと形になったものを、構想としてまとめつつある。上にもあるように宇宙天気防災は学際的で広範囲の分野に跨がるため、俯瞰するような拠点作りが必要である。しかし、挑戦的な内容であるため、導入モデルとして宇宙天気インタプリタの育成を最初に取り上げる。宇宙天気の防災の場合は、日々GPSといった人工衛星データをスマホで受信している

が、地震の防災とは異なり、現状では極めて限定的な範囲に留まる。その範囲内の例として、人工衛星の運用が挙げられる。極端な宇宙天気的な現象が発生したとき、人工衛星には重大な影響があると考えられるが、その対策の統一が必要である。また極端でなくても、日々の宇宙天気を考慮した衛星運用については、通常の運用業務に比べて優先順位が低く、なかなか受け入れられていない。

この宇宙天気に関する業務を支えるために、直接または間接的に宇宙天気の扱いを伝えるインタプリタ(翻訳者)を育成することを計画している。この育成用のカリキュラム(教育課程)が必要であるが、現状ではまだ存在していない。このカリキュラムの実践と修了した人材を輩出すること次の目的としている。そして、このインタプリタ育成をモデルケースとして、宇宙天気防災に必要な人材の育成に繋げていく。

以上、宇宙的防災拠点化構想と宇宙天気インタプリタ育成計画の説明であるが、現在所属する組織では遂行するリソースが無く、実現の可能性は低い。そこで、所属外での実践として、SNSなどを通じ人材の確保を行う予定である。そして、既存の組織を越えたところ、すなわち従来の枠に囚われない人材が生まれると考えている²⁾。

6. 宇宙天気予報が当たり前の時代を想定する

40年後の2059年、宇宙天気予報が地上の気象予報の様に日常的に利用される時代を想定する。電力は現在においても、生活に密接(例、医療、交通、空調)であり、地球規模で停電が起きたら大災害である。乗り物は自動運転が主流となり、測位障害が起きると交通事故や迷子を引き越すに違いない。一般人が宇宙に行き、宇宙で働く様になり、宇宙天気予報の正確さ、長期の被曝予想が必要になるだろう。通信は、現在では問題にならない小さな擾乱でも人命に関わるようになるのではないか。この様に、宇宙天気予報が当たり前の時代とは、電気や通信に命が大きく関わる時代であり、宇宙天気の精度や予報の丁寧さが求められる。宇宙天気予報が当たり前の時代を想定し、宇宙天気予報士を目指して研鑽する学生がいる。共著者の石田である。地理学科の学生の立場から個性的なアイデアを出している。石田の様に、宇宙天気に興味を持ちつつ、将来の多角的人材ニーズに備えたキャリア形成を目指す人材が現われたのは興味深い。

この様な人材が活きる市場が生まれることを期待したい。

7. まとめ

宇宙天気災害から社会インフラを護る宇宙天気インタプリタを構想している。宇宙天気インタプリタのニーズが生まれる社会の醸成、組織化、教育カリキュラムを検討し、宇宙天気災害を体系的に学び専門職を育成する教育機関が望まれる。

8. 謝辞

本研究は、「令和元年度名古屋大学宇宙地球環境研究所 一般共同研究 宇宙天気インタプリタ養成のためのプログラム開発」にて、御支援頂いています。共同研究として受け入れてくださいました名古屋大学宇宙地球環境研究所 所長 草野完也教授に感謝致します。また、宇宙防災プロジェクトチームの皆様には御参加いただいたこと心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 玉置晋.; 野澤恵. 宇宙天気災害から社会インフラを護る～宇宙天気インタプリタ～. 第 62 回宇宙科学技術連合講演会講演集.2018, 1K07 (JSASS-2018-4241) .
- 2) 玉置晋.; 石田彩貴. 野澤恵.宇宙天気インタプリタの実践と育成計画. 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集.2019, 2H04 (JSASS-2019-4352) .
- 3) 高橋典嗣. 地球接近小惑星による自然災害リスクー観測・評価・対策. 日本航空宇宙学会誌, 2017, vol.65, no5, p.123-128.
- 4) 恩藤忠典.; 丸橋克英.; 小原隆博.; 富田一二彦.; 丸山隆. 宇宙環境科学. オーム社, 2000, 302p, ISBN978-4274078972.
- 5) 大平正道.; 松本晴久.; 片上博之.; 小松原 直彦. 衛星運用の現場における宇宙環境データの活用. 第 61 回宇宙科学技術連合講演会講演集. 2017, 3C06 (JSASS-2017-4512) .