

米国における宇宙天気予報に関する動向等

平成 30 年 3 月

国立研究開発法人 情報通信研究機構
(北米連携センター)

目次

1	宇宙天気に対する米国連邦政府の考え方と最近の動向	1
1.1	関連する主な連邦政府組織	1
1.1.1	宇宙天気業務・研究・被害軽減小委員会 (SWORM)【調整、戦略策定】.....	3
A.	概要	3
B.	国家宇宙天気プログラム (NSWP).....	4
C.	NSWP から SWORM への機能移転	6
1.1.2	気象学のための連邦連携事務局 (OFCM)【調整、戦略策定】.....	7
1.1.3	海洋大気庁 (NOAA)【実務的な業務、研究開発】.....	8
A.	実務的な業務	8
B.	補助的な研究開発	10
1.1.4	国防総省 (DOD)・米空軍【実務的な業務、研究開発】.....	11
A.	実務的な業務	11
B.	補助的な研究開発	13
1.1.5	地質調査所 (USGS)【実務的な業務、研究開発】.....	14
A.	実務的な業務	14
B.	補助的な研究開発	15
1.1.6	国土安全保障省 (DHS)・連邦緊急事態管理局 (FEMA)【実務的な業務】.....	15
1.1.7	米航空宇宙局 (NASA)【研究開発】.....	16
1.1.8	全米科学財団 (NSF)【研究開発】.....	17
1.1.9	エネルギー省 (DOE)【研究開発】.....	19
1.1.10	国務省【その他の支援業務 (国際連携)】.....	20
1.1.11	運輸省【その他の支援業務 (GPS 利用・フィードバック)】.....	22
1.2	オバマ前政権における取組	23
1.2.1	国家宇宙天気戦略と行動計画の発表 (2015 年 10 月).....	23
1.2.2	大統領令「宇宙天気イベントに備えた取組の調整」の発布 (2016 年 10 月)	25
1.2.3	連邦エネルギー規制委員会による地磁気擾乱の安全基準承認 (2016 年 9 月).....	26
1.2.4	R2O/O2R 向上を目指した産学官連携.....	27
A.	事例①: NASA の取組.....	29
B.	事例②: 国防総省の取組.....	31
1.3	トランプ政権における動向	32
1.4	連邦議会の動向	33
1.4.1	宇宙天気研究・予報法案 (2016 年、2017 年)	33
1.4.2	米陸上交通修復法 (FAST 法、2015 年)	35

2 宇宙天気に関する民間セクターの動向	36
2.1 米商用宇宙天気協会 (ACSWA)	36
2.2 Space Hazards Applications.....	37
2.3 Delta Air Lines.....	38

図表一覧

図表 1: 米連邦政府内における宇宙天気関連の業務に携わる主な組織.....	1
図表 2: 米国の宇宙天気観測のモデリング、データ収集関連プロジェクト整理図	2
図表 3: 米国の宇宙天気観測機器の対象と活用用途の例	3
図表 4: SWORM の組織構成.....	4
図表 5: OFCM、NSWP、SWORM 等の関係整理	5
図表 6: 国家宇宙天気プログラム (NSWP) の取組 (時系列)	6
図表 7: NOAA の宇宙天気予報センターが発表している観測・予測の例	9
図表 8: NOAA の宇宙天気予報センターの利用者数動向	10
図表 9: Ready.gov の宇宙天気に関するページ (児童向け)	16
図表 10: NSF の地球空間関連プログラムとその予算 (2016 会計年度)	18
図表 11: Space Weather as a Global Challenge 2017 の関係者	22
図表 12: 国家宇宙天気戦略と行動計画の取組状況 (2017 年 6 月時点)	25
図表 13: R2O と O2R の要素.....	27
図表 14: 宇宙天気モデル開発における R2O と O2R の構図	28
図表 15: 国家宇宙天気戦略の行動計画における R2O、O2R 向上についての記述	28
図表 16: NASA における R2O 促進に関する取組概観	30
図表 17: 国防総省による R2O、O2R を活用した現場支援システム	32
図表 18: 2017 年宇宙天気研究・予報法案 (上院追加バージョン) の提案内容の例	34
図表 19: GeoOptics 社による宇宙天気分野の産学官連携案	37
図表 20: SatCAT の構想図.....	38
図表 21: 宇宙天気の影響と Delta Air Lines の対応整理	39

1 宇宙天気に対する米国連邦政府の考え方と最近の動向

1.1 関連する主な連邦政府組織

連邦政府における宇宙天気関連の業務に携わる主な組織は、その役割によって、①省庁横断的な調整や戦略策定を主導する組織、②実務的な業務(観測、分析、予報、関連サービス・製品の提供含む)を担当する組織、③実務的な業務を支援する事を目的とした補助的な研究開発に尽力する組織、④その他の支援業務に従事する組織に大別できる。以下の表は、それぞれの主な役割を担当する組織を整理したものであり、海洋大気庁(NOAA)や国防総省、地質調査所(USGS)は、複数の役割を担当していることが分かる。

図表 1: 米連邦政府内における宇宙天気関連の業務に携わる主な組織

①省庁横断的な調整・戦略策定		
<ul style="list-style-type: none"> 宇宙天気業務・研究・被害軽減小委員会(SWORM) 気象学のための連邦連携事務局(OFCM) 		
②実務的な業務 (観測、予報、サービス提供等)	③補助的な研究開発	④その他の支援業務
<ul style="list-style-type: none"> 海洋大気庁(NOAA: 主に国立気象局、宇宙天気予報センター) 国防総省(主に米空軍) 地質調査所(USGS) 国土安全保障省(DHS)、連邦緊急事態管理庁(FEMA) 	<ul style="list-style-type: none"> NOAA 国防総省(米空軍研究所[AFRL]等) USGS 航空宇宙局(NASA) エネルギー省 国立科学財団(NSF) 中小企業庁(SBA: 研究助成金の付与等) 	<ul style="list-style-type: none"> 国務省(国際連携支援) 運輸省(GPS 利用・フィードバック)

出典: OFCM の資料を基に作成¹

上記の関連組織の中でも、2016年10月にオバマ政権下に国家科学技術会議(NSTC: National Science and Technology Council、大統領が議長を務める)内部に創設された宇宙天気業務・研究・被害軽減小委員会(SWORM: Subcommittee on Space Weather Operations, Research, and Mitigation)の創設は、それまで省庁が中心となって主管していた宇宙天気関連業務を、大統領府が管轄する業務に引き上げた事を象徴する出来事であった。

また、SWORM が中心となって策定され、2015年と2016年にそれぞれ発表された国家宇宙天気戦略(National Space Weather Strategy)とその行動計画²、関連大統領令である『宇宙天気現象へ備えるための連携(Coordinating Efforts to Prepare the Nation for Space Weather Events)』³は、現在の連邦政府における宇宙天気関連業務の指針となっている。

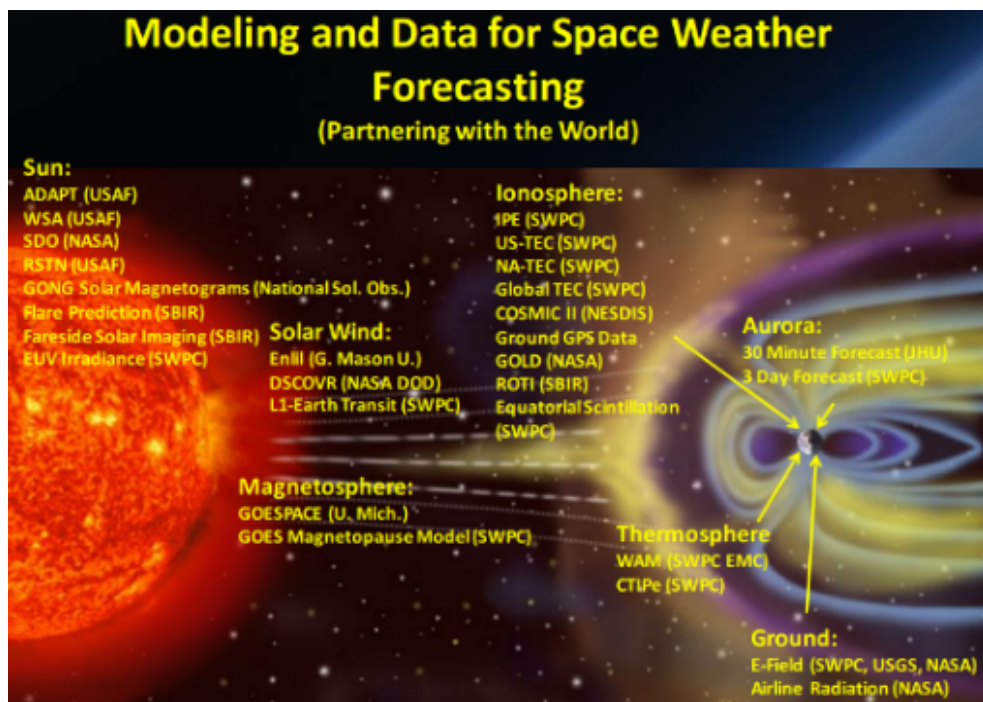
¹ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf>

² <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2015/10/28/enhancing-national-preparedness-space-weather-events>

³ <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2016/10/13/executive-order-coordinating-efforts-prepare-nation-space-weather-events>

なお、前述のとおり、連邦政府組織の中でも宇宙天気の観測や予測を担当する組織は複数あり、軍事・非軍事の目的のため、組織間で個別の事象や状況の観測・予測の役割分担を行っている。以下の図は、米国が運用している宇宙天気予報のモデリングやデータ収集関連プロジェクトを整理したものである。図の左上から、太陽、太陽風、磁気圏、電離層、熱圏、オーロラ、地上のそれぞれの状況の観測を目的としたものであり、前述の様な宇宙天気の実務業務や研究開発に役割を有する組織のほか、ミシガン大学や、天文学研究のための大学連合 (Association of Universities for Research in Astronomy) が運営している国立太陽天文台 (National Solar Observatory) など関わっていることが分かる。

図表 2: 米国の宇宙天気観測のモデリング、データ収集関連プロジェクト整理図

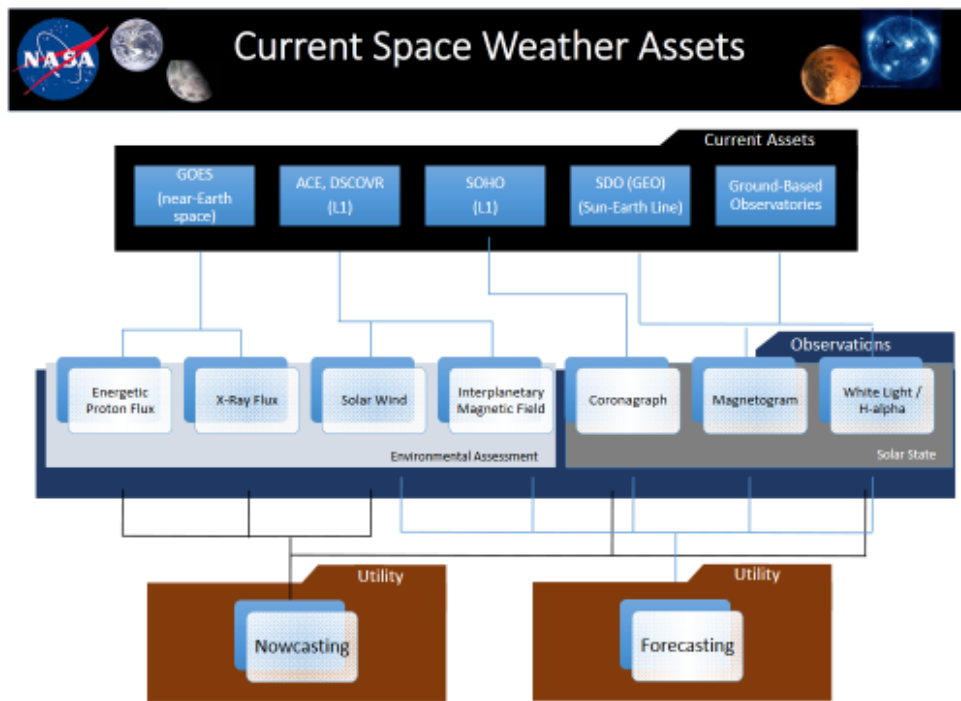


出典: NOAA⁴

また以下の図は、上図にも含まれる一部プロジェクトの観測対象(宇宙環境もしくは太陽)と、収集されたデータが観測(nowcasting)と、予報(forecasting)のどちらに利用されているかを簡単に整理したものである。太陽・太陽圏観測機の SOHO から得られるコロナグラフや、太陽観測衛星のソーラー・ダイナミクス・オブザーバトリー (SDO) から得られる白色光や H α 線は、観測と予報の両方に活用されていることが分かる。

⁴ <http://www.testbeds.noaa.gov/events/2016/workshop/presentations/2016-NOAA-TBPG-Workshop-Roundup-SWPT.pdf> (p.4)

図表 3: 米国の宇宙天気観測機器の対象と活用用途の例



出典: NASA⁵

ここでは、米連邦政府内における宇宙天気関連の業務に携わる主な組織と、それぞれの組織が担当する業務・役割の概要についてまとめる。

1.1.1 宇宙天気業務・研究・被害軽減小委員会(SWORM)【調整、戦略策定】

A. 概要

SWORMとは、2016年10月にオバマ前大統領が発布した大統領命令「宇宙天気イベントに備えた取組の調整」によって、国家科学技術会議(NSTC)の環境・自然資源・持続委員会(CENRS: Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability)に新たに創設された常設小委員会である。SWORMは、連邦政府が主導する宇宙天気関連の業務や研究を包括的に管轄する役割を担い、その創設は、宇宙天気が大統領府の懸念事項として認識されるようになったことを象徴している⁶。

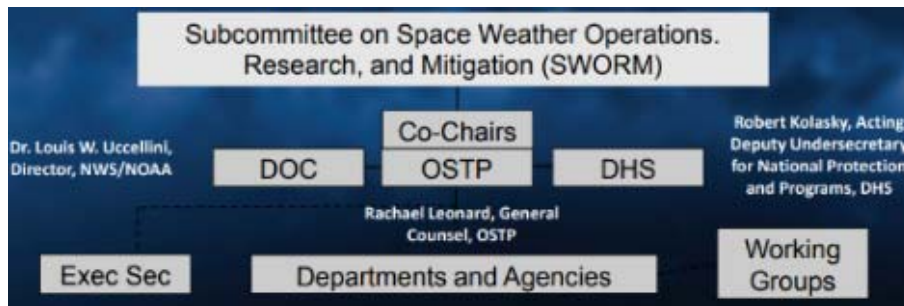
SWORMには、20以上の省庁や連邦政府機関の関係者が参加しており、OSTPと商務省(NOAAの上部組織)、国土安全保障省が議長を務めており、メンバーとして、国防総省、内務省、運輸省、エネルギー省、NASA、NSF等が含まれる(以下の図参照)。SWORMの実働部隊は、「SWORMタスクフォース」と呼ばれ、SWORM自体が創設される前の2014年11月から存在し、委員会創設の準備から活動を行ってきた

⁵ http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SWW_2017_RGaza_web.pdf (p.16)

⁶ <http://sworm.gov/about.htm>

た。SWORM とそのタスクフォースは、後述する国家宇宙天気戦略や行動計画の策定などを主導したほか、現在はオバマ前大統領が 2016 年 10 月に発布した宇宙天気に係る大統領令の遵守に注力している。その他、米国の国家的危機に備えるためのイニシアティブや政策等に対しても、宇宙天気の影響の観点から進言を行っている⁷。

図表 4: SWORM の組織構成



出典: NASA⁸

SWORM は、2010 年度 NASA 授權法 (National Aeronautics and Space Administration Authorization Act of 2010)⁹の宇宙天気に関する条項の定めによって創設されたものであり、同法の 809 条では、(1) 宇宙天気イベントの影響への米国の備えや回避、対応能力の強化、(2) 国家宇宙天気プログラム (NSWP: National Space Weather Program、詳細後述)のメンバー間の関連業務の調整の 2 点を、米科学技術政策局 (OSTP) の局長に求めている。このうち SWORM タスクフォースの創設は、特に(2)を満たすための取組である¹⁰。

B. 国家宇宙天気プログラム (NSWP)

NSWP とは、SWORM 創設以前の 1994～2015 年に連邦政府が実施した宇宙天気関連の取組において、省庁間の組織横断的な連携ほか、連邦政府と産業界、学術界の連携を調整する役割を担った。NSWP は、SWORM の実質的な前身であるという位置付けであり、これは連邦政府の宇宙天気に対する懸念は、SWORM 創設以前から存在していたことを意味する。

NSWP は、OFCM の顧問機関である気象サービスおよび支援研究にかかる省庁間委員会 (ICMSSR: Interdepartmental Committee for Meteorological Services and Supporting Research)によって構成された。NSWP には、SWORM タスクフォース (2014 年創設)のメンバーとほぼ同様のメンバーが参加し、NOAA、国防総省、内務省、NASA、NSF 等の省庁・機関が含まれていた¹¹。

⁷ <http://sworm.gov/about.htm>

⁸ http://www.ofcm.gov/meetings/SWEF/2017/4-1_Clarke.pdf (p.4)

⁹ 2010 年度の NASA の予算の大枠や上限を定めると共に、NASA や関係機関に政策の実施権限を与える法律。

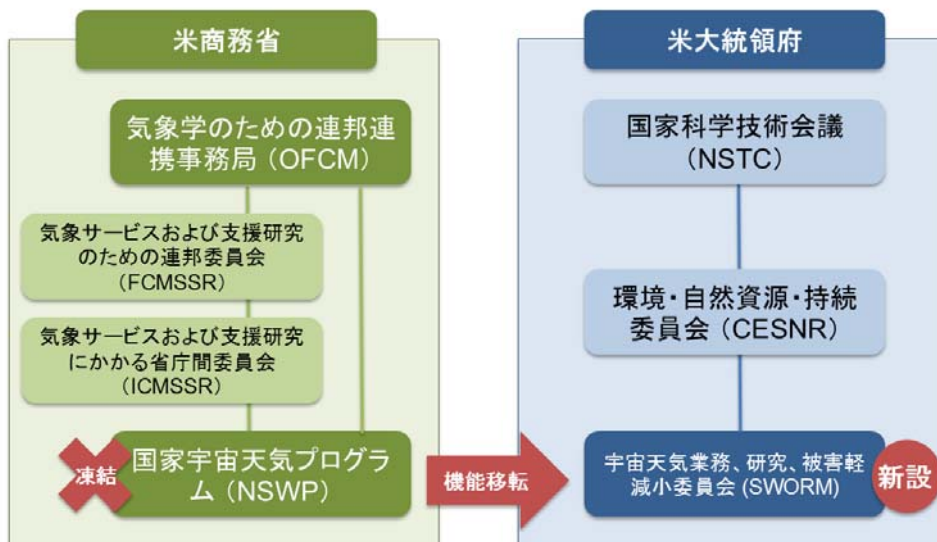
¹⁰ <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016SW001523/references>

<https://www.congress.gov/bill/111th-congress/senate-bill/3729>

¹¹ <http://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2017/ISWI%20Boston/ISWIBostonDay4/75.pdf> (p. 6)

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016SW001523/references>

図表 5: OFCM、NSWP、SWORM 等の関係整理



出典：複数の資料を元に作成

NSWP は 1995 年と 1997 年にそれぞれ、宇宙天気への対処を目的とした「第 1 次戦略計画(1st Strategic Plan)」と「第 1 次実行計画(1st Implementation Plan)」を発表し、その後、2000 年と 2014 年にも第 2 次と第 3 次の実行計画を発表した。第 3 次の実行計画については、草案の段階で SWORM タスクフォースに引き継がれ、NSWP 自体は 2015 年に組織としての活動を終えた。SWORM タスクフォースは、この第 3 次実行計画を基に国家宇宙天気戦略と行動計画を策定した。以下は、NSWP のその他の主要な取組みの実績である¹²。

¹² <http://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2017/ISWI%20Boston/ISWIBostonDay4/75.pdf> (p. 9)

図表 6: 国家宇宙天気プログラム(NSWP)の取組(時系列)

External Factors	NSWP Internal Actions
Space Weather induced Hydro-Quebec Power Outage 1989	FCMSSR Established NSWP 1994
	1st Strategic Plan 1995
1st Space Weather Workshop in Boulder, CO 1996	1st Implementation Plan 1997
NSSA Space Weather Architecture 1999	CCMC Framework Established 1999
NASA Living With a Star Program Initiated 1999	
NSF Funds CISM at Boston Univ. 2002	2nd Implementation Plan 2000
Decadal Survey 2002	
AGU Launches Space Weather Journal 2002	
1st Annual AMS Space Weather Symposium 2003	Assessment of NOAA SEC 2003
Halloween Space weather Storm 2003	
NOAA Converts OAR/SEC to NWS/SWPC 2005	
NSWP Independent Assessment 2006	1st Space Weather Enterprise Forum (SWEF) 2007
NRC Severe Space Weather Impacts Study 2008	NPOESS / ACE Impacts Report 2008
	LEO Mitigation Options Report (COSMIC-2) 2009
	Solar Wind Mitigation Options Report (DISCOVER) 2009
NASA Authorization Act 2010	
ACSWA Formation 2010	
GAO Report 10-456, 2010	2nd NSWP Strategic Plan 2010
SDR Grand Challenge Space Weather I-plan 2010	
Lloyds Report: Solar Storm Risk 2010	SEGA Reports 2011 – 2013
Supported Nat'l Earth Observing Report 2012	National Space Weather Portal 2012
Near-miss Carrington Analog Storm 2012	Unified National Space Weather Capability MOU 2013
Decadal Survey 2013	
SWORM Task Force Established 2014	3d NSWP Implementation Plan (Draft) 2014
Supported SWORM 2015 +	NSWP Council Deactivated 2015

出典: OFCM¹³

C. NSWP から SWORM への機能移転

2010年のNASA 授権法において、大統領府の内部組織である OSTP に NSWP の監督が求められた背景には、政府説明責任局(GAO)からの提案がある。GAO は 2010 年 4 月、下院科学・技術委員会から求められて提出した評価報告書(気候変動や宇宙天気観測を目的とした、連邦政府の衛星運用事業についての報告書)の中で、OSTP に対し、長期的、且つ省庁横断的な宇宙天気に対する戦略を構築することを提案している。GAO は、この提案の根拠として、過去に NOAA と国防総省(DOD)が気候変動や宇宙天気観測を目的とした観測衛星の適切な交換に失敗し、結局 NPOESS プログラム¹⁴の凍結を招いたことを挙げた¹⁵。

¹³ <http://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2017/ISWI%20Boston/ISWIBostonDay4/75.pdf> (p. 9)

¹⁴ 米国がかつて運用していた、地球の天気や大気、海、陸、地球に近い宇宙空間を観測する目的で運用された観測衛星システム。正式名称は、国家極軌道運用環境衛星システム(National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System)。衛星の老朽化に際して、NOAA と国防総省が連携して交換を予定していたが、費用の高騰や遅延を受けて、2010年に凍結され、NOAA と NASA の商用向けのプログラムと、DOD の軍用向けのプログラムに分割された。<http://www.climate-science-watch.org/2012/07/10/jpss-satellite-delays-risk-loss-of-global-climate-data-continuity/>

¹⁵ <https://www.gao.gov/assets/310/303751.pdf>

GAO は、省庁主導であった NPOESS プログラムの失敗を振り返った上で、省庁レベルで策定・実施可能な、短期的な戦略ではなく、より包括的な枠組みで長期的な戦略を策定する必要性を強調し、関連する取組みへの OSTP の介入を促した。この GAO の報告書は、NASA 授権法の宇宙天気関連の条項の内容に対し、直接的な影響を及ぼしたと言われている¹⁶。

このほか、2010~2013 年の間で、様々な組織から宇宙天気の影響について懸念する声が上がった。例えば 2010 年には、英ロイズ銀行が、宇宙天気の地球とビジネスへの影響についてまとめた報告書¹⁷を発表したことで、金融や保険業界を中心とした米国のビジネス分野においても、宇宙天気に対する関心が強まった。加えて 2011 年には、24 回目の太陽活動周期(サイクル 24)が活発化していたこともあり、米メディア上での関連報道も目立つようになった¹⁸。

更に 2013 年には、全米研究評議会(NRC: U.S. National Research Council)が発表した報告書¹⁹において、大統領の直属機関である NSTC や OSTP、行政管理予算局(OMB)等が直接的に関わり、NSWP を再編するよう、提案が行われた。OFCM の関係者によれば、2010 年 NASA 授権法の定めに加え、これらの有識者やメディアからの提案もあり、2014 年の SWORM タスクフォースの創設に至った²⁰。

1.1.2 気象学のための連邦連携事務局(OFCM)【調整、戦略策定】

OFCM は、米連邦政府内の気象学に関連する情報共有や取組の連携を促す目的で 1964 年に商務省によって創設された独立機関である²¹。OFCM の運営は、商務省のほか、ICMSSR の活動の指揮を取る上部組織、気象サービスおよび支援研究のための連邦委員会(FCMSSR: Federal Committee for Meteorological Services and Supporting Research)によって主導されている。FCMSSR の委員長は NOAA であり、メンバーとして NASA や国防総省、運輸省、エネルギー省などが含まれる²²。

OFCM では、その他の気象分野に係る取組に加えて、宇宙天気に係る取組も行われており、2015 年に活動が凍結された NSWP も、元々は OFCM やその顧問機関である ICMSSR が主導していた組織であった。SWORM タスクフォースの創設により、NSWP の活動が凍結され、宇宙天気関連の組織間調整の主管が大統領府や OSTP に移行された後も、OFCM や ICMSSR は、SWORM タスクフォースの取組を補完するような活動を続けている²³。

例えば、FCMSSR と OFCM では毎年、天文学関連の連邦政府の戦略や取組、進捗状況についてまとめた年次報告書「気象サービスと支援研究についての連邦計画(The Federal Plan for Meteorological

¹⁶ <https://www.ofcm.gov/publications/spacewx/SWE20403-published.pdf> (p.8)

¹⁷ https://www.lloyds.com/~media/lloyds/reports/360/360-space-weather/7311_lloyds_360_space-weather_03.pdf

¹⁸ <https://www.ofcm.gov/publications/spacewx/SWE20403-published.pdf> (p.9)

¹⁹ <https://www.nap.edu/catalog/13060/solar-and-space-physics-a-science-for-a-technological-society>

²⁰ <https://www.ofcm.gov/publications/spacewx/SWE20403-published.pdf> (p.8-10)

²¹ <http://www.ofcm.gov/about.htm>

²² <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p. 2-3-2-4)

²³ <http://www.ofcm.gov/index.html>

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016SW001523/references>

Services and Supporting Research)』²⁴を公表しており、この報告書には宇宙天気の項も存在する。また FCMSSR と OFCM は、2009 年からほぼ毎年「宇宙天気エンタープライズフォーラム (Space Weather Enterprise Forum)』²⁵と呼ばれる会議を開催しており、この会議には政権関係者のほか、連邦議会の関係者、民間・大学の研究者、企業関係者、宇宙天気観測データの利用者、メディアなどの多種多様な関係者が参加し、関連情報の共有や各組織の役割整理、課題の提起等を行う。2017 年の会議は 6 月にワシントン D.C. で開催され、同年のトピックは、重要インフラの保護と、それに必要な研究、サービス、製品の改善であった²⁶。

また OFCM と NOAA の宇宙天気予報センターは 2017 年 9 月、SWORM タスクフォースのウェブサイトの立ち上げを発表した。同ウェブサイトは、SWORM タスクフォースの承認を得たもので、NOAA から予算的な支援を受けつつ、OFCM が運営を主導している²⁷。

1.1.3 海洋大気庁 (NOAA)【実務的な業務、研究開発】

NOAA は、宇宙天気に係る実務的な業務と補助的な研究開発の両方の活動を担っているほか、省庁横断的な調整・戦略策定においても主要な役割を担っており、宇宙天気に関する連邦省庁の中では、中心的な存在と言える。

A. 実務的な業務

商務省の外局である NOAA は、1946 年に宇宙天気予報センター (Space Weather Prediction Center) を創設し、関連データを収集すると共に、1965 年からは毎日、宇宙天気予報を発表している。同センターは、地上と宇宙空間の両方にあるセンサーやシステムから、太陽や太陽圏、磁気圏、電離層のリアルタイムの状態を示すデータを収集しており、これらの情報を基に、予測、観測、警告・警報発令等を行っている²⁸。

NOAA の宇宙天気予報センターは特に、ラジオ・ブラックアウト (Radio Blackouts)、太陽嵐 (Solar Radiation Storms)、磁気嵐 (Geomagnetic Storms) の観測と予報に力を入れており、それぞれが電力システムや宇宙船、衛星の運営、通信、生態系等に及ぼす影響の規模を、独自基準で 5 段階 (1 が影響最小、5 が最大) に設定し、ウェブサイトで発表している²⁹。

以下の図は、2018 年 3 月 15 日に同センターのウェブサイトで実際に掲載されていた、ラジオ・ブラックアウト、太陽嵐、磁気嵐の過去 24 時間の最大規模、直近の観測状況、当日の予測を示した画像の一部である。ラジオ・ブラックアウトは R、太陽嵐は S、磁気嵐は G で示されており、緑はそれぞれの影響がほぼ無いこと (none) を示している。図右上の黄色「G1」で示されているのは、磁気嵐の 15 日の予報であり、最小

²⁴ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/fedplan2.htm>

²⁵ <http://www.ofcm.gov/meetings/SWEF/swefmeeting.htm>

²⁶ <http://www.ofcm.gov/meetings/SWEF/swef.htm>

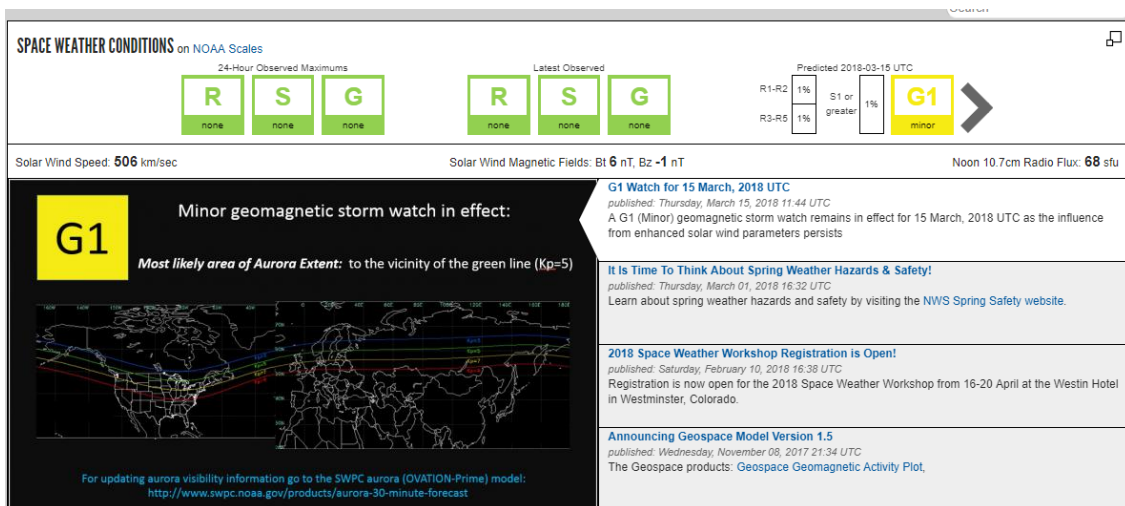
²⁷ <http://www.ofcm.gov/index.html>

²⁸ <https://www.swpc.noaa.gov/content/space-weather-faq-frequently-asked-questions>

²⁹ <https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation#>

規模ではあるものの、磁気嵐から電力グリッドや宇宙船への運用への影響、生態系の影響があることを示している³⁰。

図表 7: NOAA の宇宙天気予報センターが発表している観測・予測の例



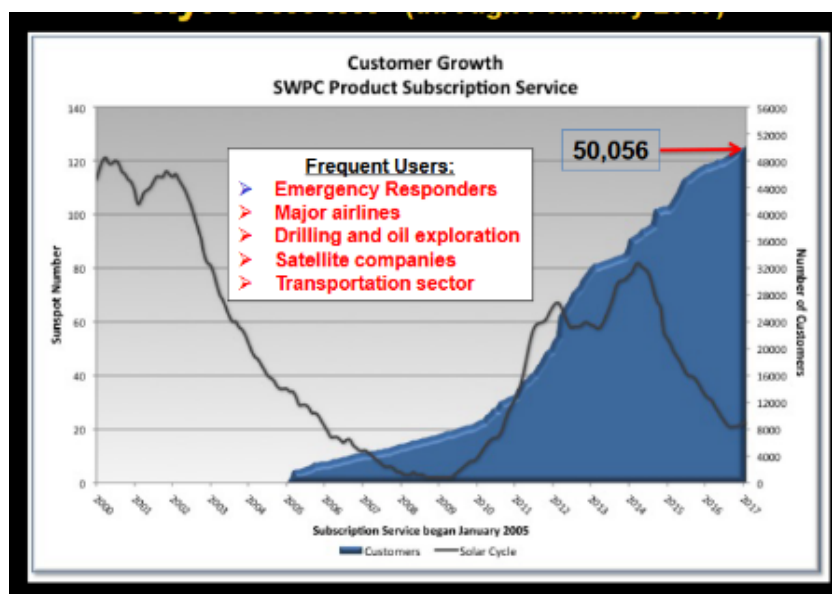
出典: NOAA 宇宙天気予報センター³¹

NOAAによれば、2012年以降、宇宙天気予報センターの予測サービスの利用者の数が急激に増えており、2017年2月時点で5万人を超えた(利用者数の動向については、以下図参照)。この5万人の中では特に、危機対応、大手航空会社、資源発掘企業、衛星事業者、交通・運輸分野の関係者からの利用が目立つという。

³⁰ <https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation#>

³¹ <https://www.swpc.noaa.gov/>

図表 8: NOAA の宇宙天気予報センターの利用者数動向



出典: NOAA

B. 補助的な研究開発

NOAAの宇宙天気予報センターが運営している宇宙天気予報テストベッド(SWPT: Space Weather Prediction Testbed)は、宇宙天気予報に資する予報技術やモデル、製品、予報技術の開発を実施し、NOAAの宇宙天気予報センターの予報や通知サービス等の向上に資するほか、関連研究を行っている他組織の支援を行う事を目的としている。SWPTの業務の具体的な内容は以下のとおりである³²。

- 宇宙天気予報の向上につながる可能性のある、新しいデータ解析技術、予報モデル、および観測システム等の把握と開発支援。
- 宇宙天気予報センターが提供する情報の改善につながる可能性のある、データ解析技術、アルゴリズム、予報モデル、観測システムに関する研究の実施、支援、管理。
- 外部の研究コミュニティから生まれる有望な数値コードと予報技術の開発、試験、検証、実証と、それらを実際に応用した場合の潜在的恩恵の特定。
- NOAAの宇宙天気予報センターのニーズおよび要件を、産学官や他国の利害関係者と共有し、国家としての宇宙天気研究の優先順位付け、ならびに宇宙天気解析と予報の改善を支援する。

また SWPT において、現在進められているプロジェクトの例は以下のとおりである³³。

³² <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-177, 2-178)

³³ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p. 2-178)

- 太陽から地球までの空間における太陽嵐の発生を予測する、太陽・太陽圏モデルのためのコロナ質量放出の定義とパラメータの改良、それによる宇宙天気嵐の1~4日間予報の向上。
- 地球空間と磁気圏の予測モデルを導入し、電力業界向けの予報サービスを改善すると共に、NOAAの宇宙天気予報センターの顧客に提供する宇宙天気が地球に与える影響についての情報の強化。
- オーロラの発生場所と強度を3日前から予報可能なモデルの開発と、それを基にしたオーロラによる影響予測の向上。
- 全球大気モデル(Whole Atmosphere Model、拡張NWS・GFSモデル)と電離圏・大気圏電気力学(Ionosphere Plasmasphere Electrodynamics)モデルを一体化した、地球大気圏統合ダイナミクス(IDEA: Integrated Dynamics of Earth's Atmosphere)モデルの開発による、GPS(全地球測位システム)とGNSS(全地球衛星航法システム)のサービス向上。

1.1.4 国防総省(DOD)・米空軍【実務的な業務、研究開発】

米国の安全保障を管轄する国防総省にとっても、宇宙天気の影響は無視できないものである。NOAAと同様、国防総省も宇宙天気の観測や分析に係る実務的な業務と、それを支援する研究開発の両方を行っており、関連する戦略の策定においても主要な役割を担う。

A. 実務的な業務

国防総省の中で宇宙天気関連の実務的な業務を主導しているのは米空軍であり、空軍は海空域、地上、宇宙、サイバースペースにおける国防総省やインテリジェンス機関の作戦や情報収集活動を支援するため、宇宙環境情報や関連製品・サービスの提供を行っている。例えば太陽から放出される高エネルギー粒子、エックス線、電波バーストは、国防総省の作戦に次のような影響を与える可能性があり、懸念事項となっている³⁴。

- 軌道にある衛星やその他機器の電氣的異常や部品の劣化
- 高周波数(HF)通信、超高周波(UHF)通信、および全地球測位システム(GPS)衛星のナビゲーション信号に利用される電磁信号への影響
- 低軌道衛星にかかる負荷の増加
- 太陽または極向きレーダーへの干渉または誤リターンの増加
- 高高度および極地の上空で活動するパイロットへの放射線暴露による潜在的な健康被害

米空軍の宇宙天気担当部局は、米軍四軍の共通作戦に資するため、宇宙天気に関する未加工データを、軍事作戦に役立つインテリジェンス情報へと分析・加工する役割を担う。また太陽放射の状況を監視し、軍事ミッションに合わせた形でデータを加工し、解析や予報、警報を提供している。これらの宇宙天気に関連

³⁴ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-174)

する製品やサービスは、国防総省や米軍兵士、その他の連邦機関によるミッション計画の策定や、環境状況の把握に活用される³⁵。

米空軍は、宇宙天気に関する情報を、地上にあるシステムと、宇宙空間にあるシステムの両方から収集し、適宜組み合わせている。これらのシステムは、米空軍が運用しているものだけでなく、NOAA や NASA 等の他の連邦政府組織が運用しているもののほか、カナダ等の他国が運用しているものも含まれる。例えば、電離層などの地球に近い環境については、地上と宇宙空間システムがそれぞれ補完的に高精度の検証を行うことにより、地球規模のカバレッジと全戦域の状況認識を可能としている³⁶。

太陽観測については、地上システムによって光および高周波帯で太陽を高精度で観測するほか、宇宙空間からの観測によって地上からは収集できないデータを補完的に入手している(宇宙空間にあるシステムでは、太陽風や磁気圏といった宇宙環境の現地測定が可能である)³⁷。米空軍が運用している宇宙天気観測用のネットワークと、それらが提供している関連製品やサービスの例は、以下のとおりである。

- **太陽電気光学的観測ネットワーク(SEON: Solar Electro-optical Observing Network)**³⁸・・・国防総省のミッションに資する事を目的とした、太陽現象の観測用の地上観測ネットワーク。光や周波数を用いた観測システムである「無線太陽望遠鏡・ネットワーク(RSTN: Radio Solar Telescope Network)」や「太陽観測光ネットワーク(SOON: Solar Observing Optical Network)」を活用して、太陽現象を 24 時間観測している。
 - **無線太陽望遠鏡・ネットワーク(RSTN: Radio Solar Telescope Network)**・・・太陽の電波放射を観測する機器のネットワークであり、8 つの特定の周波数帯を用いて太陽電波バーストをモニターする。
 - **太陽観測光ネットワーク(SOON: Solar Observing Optical Network)**・・・太陽フレアの活観測ネットワーク。太陽フレア活動は、地球の磁界と干渉して磁気嵐を引き起こす、コロナガス噴出の前兆である可能性がある。H α 波長の光を捉える観測により、その画像からは太陽の下層大気または採層における太陽の複雑な活動を把握することができる。同様に、連続光(白色光)による観測では、太陽の表面または光球の黒点を観察することができる。また SOON では、ゼーマン(Zeeman)分裂技術を使い、太陽の磁気地図を作成することも可能になる。閾値を超える太陽放出が観測された場合、それを基に、軍事ミッションの計画と実行のための、カスタマイズ化された分析や予報、警報が準備される。

³⁵ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-174-175)

³⁶ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-175)

³⁷ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-175)

³⁸ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-175)

- **NEXt 世代イオノゾンデ(NEXION: NEXt-generation IONosonde)³⁹**…地上ベースのイオノゾンデ、及びその他センサーのネットワーク。イオン圏の環境データを管理している。NEXIONのほか、空軍は「電離圏シンチレーション(Ionospheric Scintillation)電離圏全電子数(TEC: Total Electron Content)観測(ISTO: Ionospheric Scintillation and Total Electron Content Observatories)ネットワーク」の構築も進めており、これらのネットワークでは、世界の赤道地域での衛星通信とGPS無線信号の減衰を特性化することが予定されている。

なおNASAのジェット推進研究所(Jet Propulsion Laboratory)は、空軍のネットワークを補完する世界規模のセンサー・ネットワークを運用しており、それによってGPS信号の電離圏見通し内全電子数を抽出し、これらデータを空軍に提供している。ほかにも空軍は、北米を中心に地上ベースの磁気探知器ネットワークを運用する米国地質調査所(USGS)から、地球磁場とその変動に関する重要な測定データの提供を受けている。

- **防衛気象衛星計画(DMSP: Defense Meteorological Satellite Program)⁴⁰**…宇宙空間ベースの観測システム。空軍は、DMSPの特殊センサー降下電子・イオンスペクトロメータ(Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer)によって、オーロラを引き起こす低エネルギー降下電子を測定している。また、イオン、電子、シンチレーションを検出するDMSP特殊センサーによって、地上センサーを補完する電離圏環境のトップサイドおよび現場測定値を収集している。これらのデータは、弾道ミサイル早期警戒レーダーシステムおよび長距離通信に対する電離圏の状態の影響を評価するために使用される。ほかにも、世界的なオーロラ活動のモニターや、宇宙環境が衛星運用におよぼす影響の予測を目的に、これらデータは利用されている。

B. 補助的な研究開発

国防総省における宇宙天気に関する補助的な研究開発は、空軍研究所(AFRL)等が中心となって実施している。AFRLは、外部研究施設が計画した研究の実施や、独自研究を通して、空軍の宇宙天気関連ミッションを後押ししている。AFRLの研究の焦点分野は以下のとおりである⁴¹。

- 電離層の無線周波システムへの影響
- 荷電粒子の仕様と予測
- 太陽じょう乱予測
- 低軌道を周回する宇宙船への減効果(neutral density)

³⁹ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-175)

⁴⁰ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-174-175)

⁴¹ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-178)

また同研究所は、宇宙天気の実務的な業務（観測、予報、サービス提供など）向けの宇宙天気センサー、モデル、ソフトウェアの開発やアップグレード等も実施しており、過去の実績には地上ベースの検出器、電離圏全電子数センサー（total electron content sensors）、電離層キャラクタリゼーション（ionospheric characterization）、太陽電波・光放射観測器（solar radio and optical emissions observing）の開発・アップグレード等が挙げられる⁴²。

加えて国防総省は、オバマ政権下において国家宇宙天気戦略が策定された際に、AFRL、海軍研究試験場（NRL）、空軍科学研究所（AFOSR）、空軍宇宙軍団（AFSPC）、統合宇宙運用センター（JSpOC）、第 557 気象航空団（557th Weather Wing）等の国防総省傘下の機関より専門家を召集し、戦略の策定に貢献した。同戦略の行動計画が掲げる第 5 目標では、国防総省が商務省と連携して、太陽電波放射（solar radio emission）の観測に役割を持つ地上施設的能力を維持、向上させることが目標として掲げられており、空軍関係者はこの取組の重要性を特筆している⁴³。

また 2016 年 10 月にオバマ前大統領が発布した大統領命令「宇宙天気イベントに備えた取組の調整」では、差し迫った宇宙天気イベントに対応し、また連邦政府の資産や活動を保護するために、国防総省は米連邦緊急事態管理局（FEMA）と連携し、事前に作戦構想（CONOPS）やチェックリストを作成するように明記されており、現在関連の取組が進められている⁴⁴。

1.1.5 地質調査所（USGS）【実務的な業務、研究開発】

内務省傘下の地質調査所（USGS）は、地理学や地質学、鉱物学等の研究を行う研究機関である。宇宙天気に関しては、観測・分析等の実務的な業務のほか、補助的な研究開発も行っている。

A. 実務的な業務

USGS の地質災害科学センター（Geologic Hazards Science Center）の地磁気プログラム（Geomagnetism Program）は、米国内 14 か所⁴⁵に地上観測所を設置しており、リアルタイムの地球磁場のデータの収集・提供を行っている。USGS のデータは、衛星ベースで収集されている地球磁場のデータを補完する役割を担っており、太陽や太陽風、磁気圏、電離層、熱圏の状況監視や、宇宙天気の衛星や GPS への影響分析等に貢献している⁴⁶。

⁴² <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-178)

⁴³ <http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SWW%202017%20DoD%20Space%20Weather%20-%20Final.pdf> (p.3)

⁴⁴ <http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SWW%202017%20DoD%20Space%20Weather%20-%20Final.pdf> (p.3)

⁴⁵ うち 1 か所は、石油・ガス掘削企業 Schlumberger と官民パートナーシップの枠組みを通して、アラスカ州にて共同運用している。

⁴⁶ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-176)

14 か所の地上観測所は、USGS と国際コンソーシアムの INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network)⁴⁷が協力して運営しており、これらの観測所から集められたデータは、準リアルタイムでコロラド州ゴールドデンにある USGC の地磁気プログラム拠点に送られ、その後 NOAA の宇宙天気観測センター、米空軍、NASA 等に共有されている。また USGS のデータは、民間企業や大学、研究所、外国組織にも活用されている⁴⁸。

B. 補助的な研究開発

USGS の地磁気プログラムは、観測や分析の質を上げるための補助的な研究開発も実施しており、研究開発には、SWORM タスクフォース等の複数のイニシアティブや計画の方針が反映されている。USGS は研究開発を通して、地球や地球空間の状況について更なる理解を深めると共に、宇宙天気の地上への影響を分析・評価する際のモデルや能力改善を行っており、統計や時系列データ、物理モデル等を採用している。また関連製品やサービスの開発・提供もおこなっており、例えば磁気活動指標 (magnetic activity indices) の計算や、地磁気じょう乱の状況を示した地図などが例として挙げられる⁴⁹。

1.1.6 国土安全保障省(DHS)・連邦緊急事態管理局(FEMA)【実務的な業務】

国土安全保障省傘下の連邦緊急事態管理局 (FEMA: Federal Emergency Management Agency) は、国家宇宙天気戦略の策定を支援し、特にエネルギー省や NOAA 等と共に、同戦略の第二目標である「対応・復興能力強化 (Enhance Response and Recovery Capabilities)」の作成を主導した。FEMA は、宇宙天気イベントの予報と観測、影響分析に関する理解を深めるため、NOAA、NASA、その他の政府機関と今後も協力する意向である⁵⁰。

例えば宇宙天気による脅威への備えを強化するため、FEMA はエネルギー省と協力し、宇宙天気イベントの最大の脅威に備える目的で「対応と復興のための連邦省庁間運用計画 (FIOP: Response and Recovery Federal Interagency Operations Plans)」の「停電事故付属書 (POIA: Power Outage Incident Annex)」の作成を率いてきた。この計画はまだ作成途中であるが、宇宙天気イベントによって大規模かつ広範な停電が起きた場合の連邦政府の役割と対応についてまとめられる予定である⁵¹。

また、米国民の宇宙天気に対する意識を高めるため、FEMA は自組織が運用している自然災害啓発・教育ウェブサイトの「Ready.gov」の中に、宇宙天気のページ⁵²を構築し、宇宙天気についての簡単な説明や、宇宙転移が及ぼす可能性のある社会への影響をまとめている。宇宙天気についてのウェブページには、大人向けと児童向け(以下の図参照)の二つがあり、全年齢層に情報共有ができるよう配慮されている⁵³。

⁴⁷ 1980 年代に創設されたコンソーシアムで、人工衛星のほか、40 か国の 120 か所の観測所から、地磁気の観測を実施している。日本の気象庁も参加している。<http://www.intermagnet.org/index-eng.php>

⁴⁸ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-176)

⁴⁹ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-177)

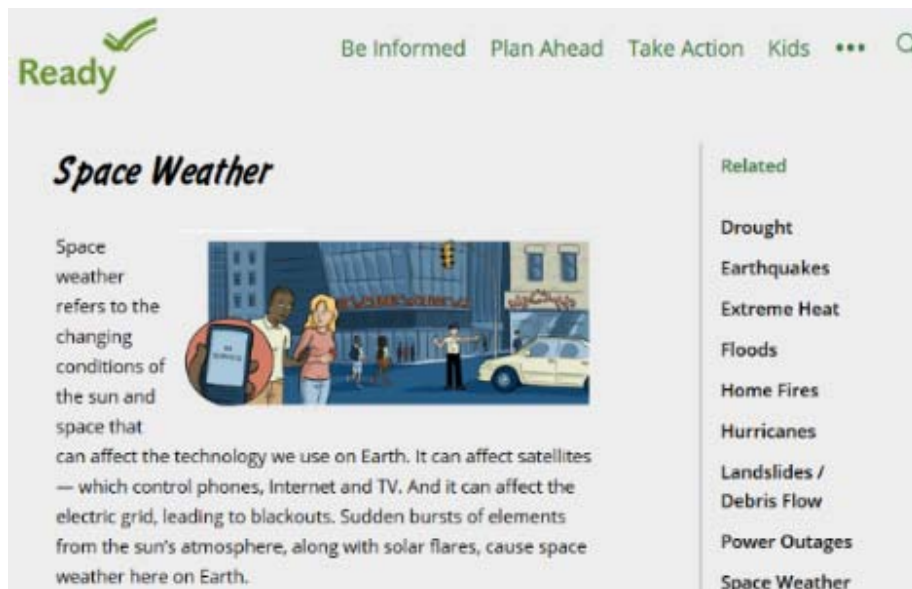
⁵⁰ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-177)

⁵¹ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-177)

⁵² <http://www.ready.gov/space-weather>

⁵³ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-177)

図表 9: Ready.gov の宇宙天気に関するページ(児童向け)



出典: FEMA⁵⁴

1.1.7 米航空宇宙局(NASA)【研究開発】

連邦政府において宇宙開発を担当する NASA も、自組織の活動や宇宙飛行士の生命を守る等の観点から、宇宙天気の観測能力強化に力を入れている。NASA 科学ミッション本部 (Science Mission Directorate) の太陽系物理学局 (Heliophysics Division) は、太陽ならびに太陽と地球・太陽圏との相互作用に関する研究を行っており、研究対象には宇宙天気も含まれる。重点領域は、理論開発、データ収集と解析、モデリングの三つである。NASA はこの目的達成のため、18 のミッションを実施し、28 機の宇宙探査機を運用しており、適宜 NOAA 等の他省庁とも連携している⁵⁵。

18 のミッションのうち 5 つのミッションでは、NASA は収集した宇宙天気データの提供も行っている。データは、NASA やその他の組織が所有する地上受信アンテナに衛星から直接送信する方法、もしくは準リアルタイムで加工されたデータをインターネット経由で送信する方法で共有されている。これらのミッションで活用されている衛星や探査機と、それぞれが収集しているデータの概要は以下のとおりである。

- **ACE 探査機 (The Advanced Composition Explorer)**・・・地球の磁場における、上流方向への太陽風の観測データを収集している。
- **STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory)**・・・太陽観測衛星。2 基で、太陽の裏側のビーコン画像を収集している。

⁵⁴ <https://www.ready.gov/kids/know-the-facts/space-weather>

⁵⁵ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-179)

- **太陽・大気圏観測機(SOHO: Solar and Heliospheric Observatory)**・・・欧州宇宙機関(ESA: European Space Agency)と共同で運用している観測機。コロナ質量放出に関する警報を発する。
- **ソーラー・ダイナミクス・オブザーバトリー(SDO: Solar Dynamics Observatory)**・・・太陽観測衛星。超高解像度の画像を提供する。
- **ヴァン・アレン帯探査機(Van Allen Probe)**・・・探査機2機によって、地球の放射線帯の状態について準リアルタイムの情報を収集する。

加えてNASAは、「リビング・ウィズ・ア・スタープログラム(LWS: Living with a Star Science Program)」によって、宇宙の異常気象を観測する次世代計器の開発を行っているほか、宇宙天気予報モデル改善のため、宇宙天気に関する理解の向上にも継続的に取り組んでいる。LWSプログラムは、NASAのゴダード宇宙飛行センターを拠点に運営されており、「恒星と共に生きていく」というその名前の示すとおり、太陽系の恒星である太陽の変化や、その変化が地球や太陽系、更には宇宙や地球に居る人類の生活に与える影響について理解を深める事を目的としている⁵⁶。LWSプログラム下では、2010年2月に前述のソーラー・ダイナミクス・オブザーバトリー(SDO)が最初のミッションとして打ち上げられ、現在も太陽の磁場のその成り立ちや状況、太陽系への影響等を観測している⁵⁷。

また、その他の研究プログラムにおいては、太陽および宇宙物理学研究モデルの実証、ならびにそれらモデルの実際の運用への移行準備のための品質保証活動として、NASAはNSFやNOAA、DODなどとの省庁横断共同活動であるコミュニティ連携モデリング・センター(CCMC: Community Coordinated Modeling Center)を運用している⁵⁸。

1.1.8 全米科学財団(NSF)【研究開発】

官民の研究者や研究機関、大学等に研究助成金を付与し、米国家全体の科学力や研究開発能力の底上げを促す役割を担うNSFは、宇宙天気分野においても、太陽や宇宙、大気物理についての基礎研究や、宇宙天気の予測モデル、地上観測機器やネットワーク、観測用小型衛星の開発等を支援する役割を担っている。NSFが2016会計年度中に実施した地球空間関連プログラムと、それぞれに付与された予算の金額は以下の表のとおりである。NSFは2017会計年度中にも同様の予算額を見込んでいる⁵⁹。

⁵⁶ <https://lws.gsfc.nasa.gov/index.html>

⁵⁷ https://lws.gsfc.nasa.gov/program_details.html

⁵⁸ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-179-180)

⁵⁹ <http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/Black%20O2R%20%281%29.pdf> (p.9)

図表 10: NSF の地球空間関連プログラムとその予算(2016 会計年度)

プログラム	金額
宇宙天気	620 万ドル
太陽・地上 (Solar Terrestrial)	780 万ドル
太陽磁場	710 万ドル
大気物理学	930 万ドル
施設	1,430 万ドル
合計	4,520 万ドル

出典: NSF の資料を基に作成⁶⁰

NSF が支援している宇宙天気関連のプロジェクトは、大規模な宇宙天気予測モデルの開発、宇宙天気観測のための地上ベース機器とネットワークの開発・運用、宇宙天気観測用の小型衛星の開発と実証等を目的としている⁶¹。NSF が支援を行っているプログラムやシステムの例は、以下のとおりである⁶²。

- **太陽、太陽圏、惑星間環境プログラム (SHINE: Solar, Heliospheric, and Interplanetary Environment)**⁶³…磁場や粒子が太陽、もしくは惑星間空間によってどのように生み出されるのか、さらにはこれらの磁場や粒子が地球に対し、どのような影響を及ぼすのかについて調査を行うプロジェクト。1999 年から開始されたプロジェクトで、現在は NASA やニュー・パンプシャー大学やハーバード大学等の関係者が中心となり、活動を行っている。
- **地球空間環境モデリングプログラム (GEM: The Geospace Environment Modeling)**⁶⁴…地球と磁気圏、磁気圏と大気圏・太陽風のそれぞれの連結についての物理学を、学术界主導で包括的に研究を行うプロジェクト。予測機能も有する地球空間全般循環モデル (GGCM: Geospace General Circulation Model) を開発した事で知られる。
- **大気圏層の連結、エネルギー論、力学プログラム (CEDAR: The Coupling, Energetics, and Dynamics of Atmospheric Regions)**…大気圏の層間の力学を、理論や経験モデルを元に、包括的に研究を行う事を目的としたプログラム。プログラムで収集されたデータは、「Madrigal3 CEDAR Database」と呼ばれるオンライン・データベースを通して、一般にも公開されている。
- **活動的な磁場と惑星電気力学の反応研究 (AMPERE: Active Magnetosphere and Planetary Electrodynamics Response Experiment)**⁶⁵…商用衛星を介して、準リアルタイムの磁場環境データを提供する米国の地球観測システム。このシステムを用いる事で、太陽から発せられる超音速のプラズマに対する地球の反応を 24 時間に亘って観測することが可能であり、それを元に宇宙

⁶⁰ <http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/Black%20O2R%20%281%29.pdf> (p.9)

⁶¹ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-180)

⁶² http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SWW2017_NSF_PShep_Public.pdf (p.6)

⁶³ <http://www.shinecon.org/>

⁶⁴ https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1723342

⁶⁵ <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/ampere>

天気の予報も可能とする。NSF が助成金を付与しており、NASA のほか、民間企業や大学が協力している。

- 宇宙天気研究向けの小型衛星・キューブサット開発

1.1.9 エネルギー省(DOE)【研究開発】

DOE の国家核安全保障局 (NSA: National Nuclear Security Administration) は、宇宙天気データの収集と配布、宇宙天気アプリケーションを使った研究ミッションへの参加、そして DREAM や AE/AP-9 といった宇宙天気モデルの開発を行っている。エネルギー省の宇宙天気関連の最も大きな役割の一つは、GPS 軌道上にある米国政府の静止衛星より、宇宙天気データを収集・配信する事である。NSA は 1979 年から静止衛星による観測を続けており、1989 年以降は、数電子ボルト (eV) から数十メガ電子ボルト (MeV) の範囲にわたるエネルギーを測定している。地球観測データは複数衛星からリアルタイムでも提供されており、リアルタイム仕様と予測モデルに必要な重要なリソースの一角をなしている⁶⁶。

エネルギー省が GPS 衛星を利用して提供する宇宙天気データには、宇宙放射線環境の粒子測定と、インパルス RF 測定 (電離層構造と密度について、衛星 24 基から地球全域をカバーする) の両方が含まれる。GPS 衛星による観測は 1983 年から現在まで続いており、他の静止気象観測と同様に、宇宙天気気象モデル、ならびに仕様と予報モデルの検証と試験に大きく貢献している⁶⁷。

傘下の国立研究所を通し、エネルギー省は重要な宇宙天気情報を提供する科学機器の開発にも貢献してきた。ACE 探査機に搭載されたプラズマスペクトロメーター、(リングカレント、放射線帯、太陽粒子を観測する) RBSP に搭載された粒子検出器、(電離層構造と密度を観測する) フォルテ (Forté) などは、その例である。また、エネルギー省は、宇宙天気モデルの構築も支援しており、例として宇宙探査機設計のための次世代気候モデル (AE/AP-9) や、放射線帯のリアルタイム同化モデルである DREAM 等が挙げられる。両モデルはいずれも静止衛星と GPS 観測に大きく依存する。もう一つの例には、リングカレントモデル (a model of ring current) の RAM-SCB がある⁶⁸。

現在エネルギー省は、宇宙天気の観測や予報、研究に関与する他機関・組織との連携強化を目指しており、米国の宇宙天気活動を支援するため、そのデータとモデル、宇宙天気サービスをより効率的に活用するための新たな方法を模索している⁶⁹。

⁶⁶ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-180)

⁶⁷ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-180)

⁶⁸ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-180)

⁶⁹ <http://www.ofcm.gov/publications/fedplan/FCM-p1-2017.pdf> (p.2-180)

1.1.10 国務省【その他の支援業務(国際連携)】

国務省は、米国の宇宙天気予報の能力強化や、宇宙天気イベントに対する対策向上を目的として、他国との連携体制を整備する役割を担っている。例えばオバマ政権下で発表された国家宇宙天気戦略の行動計画においては、国務省は主に「第6目標 国際協力の強化」の達成を主導する役割を与えられている。行動計画が国務省に対して提示している、取組みや成果物、タイムラインの例は以下のとおりである。

6.1.1. 国務省は、その他の機関と連携し、重大な宇宙天気イベントに備えて包括的かつ連携したアプローチが必要である旨を、政策決定者や米国のパートナー諸国のリーダーが十分に把握できる様にする事。

- 成果物： 極端な宇宙天気イベントの経済、社会に対する影響について話し合う、ハイレベルな国際会議を組織・開催。
- タイムライン： 本行動計画発表から18か月以内

6.1.2. 国務省は、国際的な宇宙天気イニシアティブへの米国の継続的な参加に資すること。この取り組みには、以下の様な取組みを支援することを通じた、国連の関連の事業への参加や、宇宙天気関連の要素を業務計画、プログラム、プロジェクトに盛り込むことが含まれる。

- 世界気象機関(WMO)の宇宙天気関連の取組について、今後4年間の計画を構築すること。
- 国連大気圏外平和利用委員会(COPUOS)の科学技術小委員会の定期アジェンダとして、宇宙天気を含め続けること。
- 国際民間航空機関(ICAO)と連携し、国際航空向けに、宇宙天気に関する情報やサービスを提供すること。
- 国際電気通信連合(ITU)と連携し、電離圏のじょう乱についての観測・予測ガイダンスを提供すること。
- 提出物： 進捗と、国際貢献についてまとめた報告書
- タイムライン： 本行動計画発表から1年以内、それ以降毎年

6.4.1. 国務省、商務省、国土安全保障省は、その他の連邦政府機関と連携し、他国が宇宙天気の影響について理解を深め、また各国の国家的危機・リスクの一覧に宇宙天気を含める様に促すこと。

- 提出物： 進捗報告書
- タイムライン： 本行動計画発表から1年以内、それ以降毎年

6.4.2. 国務省、国土安全保障省、NSF、エネルギー省、商務省は、重大な宇宙天気イベントのグローバル経済への影響を評価する国際機関や主要なパートナーと連携すること。

- 成果物： 国際評価についての提案書
- タイムライン： 本行動計画発表から1年以内

6.4.4. 国務省は、国土安全保障省、国防総省、商務省と連携の上、宇宙天気イベントに焦点を当てたプロトコル(国際儀礼)を策定すること。このプロトコルでは、重大な宇宙天気イベント発生中に、米国が有する宇宙天気の影響についての情報を、他国や国際機関に共有する場合の連絡方法について明示すること。

- 成果物： 連絡についてのプロトコル
- タイムライン： 本行動計画発表から2年以内

6.4.5. 国務省は、国土安全保障省や商務省、運輸省と連携の上、各国に据えられている米国の大使館や使節団に対し、重大な宇宙天気イベントの影響についての情報共有を行うこと。

- 成果物： 情報共有戦略
- タイムライン： 本行動計画発表から6ヶ月以内

6.4.6. 国務省は、関連機関と連携し、また OMB 発表の予算策定通達 Circular A-11⁷⁰や、大統領府発表の覚書 M-12-08⁷¹に則した上で、公開型かつコンセンサス・ベース型の国際標準の策定に参加し、重大な宇宙天気イベントにおける主要な危機の回復力の向上に資する国際標準の策定・活用を支援すること。

- 成果物： 進捗報告書
- タイムライン： 本行動計画発表から1年後、それ以降毎年

6.4.7. 国務省は、国防総省や商務省、その他の連邦政府機関と連携し、(米国の)サプライチェーンに関する課題を鑑み、また2012年発表の「グローバル・サプライチェーンのセキュリティのための国家戦略(2012 National Strategy for Global Supply Chain Security)」に対する連邦政府の取組の一環という位置づけで、重大な宇宙天気イベント対策に注力すること。

- 成果物： 情報共有戦略
- タイムライン： 本行動計画発表から6ヶ月以内

これらの国務省に求められる取組みの中で、すでに目に見える成果が出ている者の一つは、2017年5月にイタリア大使館において開催された国際会議「Space Weather as a Global Challenge 2017」である。国務省はイタリア大使館とこの会議を共催し、スピーカーとして NOAA や NASA、NSF、米空軍、イタリアの天体物理学研究所、イタリア空軍等の米伊政府機関のほか、Lockheed Martin や Thales Alenia Space 等の関連企業を招へいた。参加者は、20カ国から100名以上に上った。

⁷⁰ https://obamawhitehouse.archives.gov/omb/circulars_a11_current_year_a11_toc

⁷¹ https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2017/01/30/m-12-08_1.pdf

図表 11: Space Weather as a Global Challenge 2017 の関係者



出典: Secure World Foundation⁷²

また国務省は、2018年6月にオーストリアのウィーンで開催される予定の国際宇宙空間平和利用委員会 (United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: COPUOS) の世界会合 UNISPACE+50 にも参加予定である。国務省の科学・宇宙・健康担当の国務副次官補であるジョナサン・マーゴリス氏 (Jonathan Margolis) は、UNISPACE+50 の優先議題 7 つの中に、宇宙天気に関する国際的な枠組み (4. International framework for space weather services) が含まれていることを歓迎している⁷³。UNISPACE+50 の前座として 2017 年 7 月にマサチューセッツ州のボストンカレッジで開催された国連と米国政府共催の宇宙天気ワークショップでも、国務省関係者が演説を行った⁷⁴。

1.1.11 運輸省【その他の支援業務 (GPS 利用・フィードバック)】

米運輸省は、SWORM や NSWP のメンバー省庁の一つであり、主に米国における安全かつ効率的な運輸・交通を支える GPS システムや、民間航空機の乗客の健康・安心への宇宙天気の影響を警戒している。例えば運輸省の民間 GPS サービス局 (Civil GPS Service) は NOAA に対し、正確且つタイムリーな GPS データを一般市民に提供できるよう、協力を要請している⁷⁵。GPS システムは主に電離層の状況から影響を受け、磁気嵐等によって電離層に乱れが生じた場合、GPS 測位システムが正常に作動しなくなることがある。これは一般市民の移動や交通のほか、米国の産業を支える地上・空域・海上の運輸に大きな影響を及ぼす可能性がある⁷⁶。

⁷² <https://swfound.org/events/2017/space-weather-as-a-global-challenge-2017#item-1>

⁷³ https://swfound.org/media/205927/space_weather_as_a_global_challenge_may_2017.pdf (p.50)

⁷⁴ <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/schedule/2017/2017-un-usa-workshop-on-international-space-weather-initiative-presentations.html>

⁷⁵ <https://www.navcen.uscg.gov/?pageName=gpsSpaceWeather>

⁷⁶ <https://www.swpc.noaa.gov/impacts/space-weather-and-gps-systems>

国家宇宙天気戦略の行動計画は、運輸省に対し、他の連邦省庁・機関と連携して、電離放射線 (ionizing radiation) の計測基準値の構築や改善 (第 1 戦略目標)、重大な宇宙天気イベントが発生した場合の対応・復旧計画の策定 (第 2 戦略目標)、民間航空機のクルーや乗客の健康と安全を守るための放射線リアルタイム評価・報告の仕組み構築 (第 4 戦略目標)、他国との宇宙天気関連の情報共有の励行 (第 6 戦略目標) 等を求めている⁷⁷。これらの行動計画の中で運輸省は、宇宙天気の観測・予報、関連研究開発を行う NASA や国防総省等の他の連邦政府組織に対し、GPS や民間航空機の利用者や、それを管制・監督する担当者の立場に立って、提案や進言を行っていくものとみられる。

1.2 オバマ前政権における取組

1.2.1 国家宇宙天気戦略と行動計画の発表(2015年10月)

オバマ前政権下において、国家科学技術委員会 (NSTC) が 2015 年 10 月に発表した国家宇宙天気戦略 (National Space Weather Strategy) は、6 つの戦略目標を掲げており、これらの目標のそれぞれに、3~6 の小目標を掲げている。それぞれの小目標では、各省庁や政府機関の具体的な取組についても複数求めている。戦略目標 6 つとそれぞれの小目標は以下のとおりである⁷⁸。

1. 宇宙天気イベントに対する基準値を確立する (Establish Benchmarks)

- 1.1 誘発された地球磁場 (Geo-Electric Fields) についての基準値
- 1.2 電離放射線 (Develop Benchmarks for Ionizing Radiation) についての基準値
- 1.3 電離層じょう乱 (Ionospheric Disturbances) についての基準値
- 1.4 太陽電波バースト (Solar Radio Busts) についての基準値
- 1.5 高層大気拡張 (Upper Atmospheric Expansion) についての基準値

2. 対応と復旧能力の強化 (Enhance Response and Recovery Capabilities)

- 2.1 全ての危険な停電に対する対応および復旧計画の完了
- 2.2 極度な宇宙天気イベントに対する計画およびマネジメントに係る政府や民間セクターへの支援
- 2.3 重要な政府、産業サービスに対する極度な宇宙天気の影響に対する緊急時対応計画に係るガイダンス
- 2.4 極度な宇宙天気イベント中における通信システムの能力および相互運用性の強化
- 2.5 現実的な電力復旧の優先度および期待値の連携設定に向けた、インフラや技術資源の所有者およびオペレーターへの助言
- 2.6 政府や産業関連の宇宙天気対応および復旧計画の改善と試験を目的とした訓練の開発、実施

⁷⁷https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final_nationalspaceweatheractionplan_20151028.pdf

⁷⁸https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final_nationalspaceweatheractionplan_20151028.pdf

3. 保護と被害軽減策の改善 (Improve Protection and Mitigation Efforts)

- 3.1 宇宙天気の影響に対する脆弱性の軽減、リスク管理、及び対応支援をまとめた危険緩和計画の開発奨励
- 3.2 宇宙天気の影響を最も受けやすい場所における宇宙天気イベントに対する長期的な脆弱性軽減を達成するための産業界との連携
- 3.3 宇宙天気に対する脆弱性軽減のための行動を支える官民連携の促進

4. 重要インフラへの影響評価、モデル化、予測の改善 (Improve Assessment, Modeling, and Prediction of Impacts on Critical Infrastructure)

- 4.1 宇宙天気に対する重要インフラシステムの脆弱性についての評価
- 4.2 リアルタイムのインフラ評価および報告能力の開発
- 4.3 重要インフラにおける宇宙天気の影響予測のための運営モデルの開発もしくは改善
- 4.4 運営可能な影響予測及び通信の改善
- 4.5 産業、運営環境、インフラ分野への宇宙天気の影響についての研究実施

5. 理解と予報能力の向上による、宇宙天気サービスの改善 (Improve Space-Weather Services through Advancing Understanding and Forecasting)

- 5.1 長期的かつ正確な目標を定めるための宇宙天気予報に対する利用者のニーズの理解改善
- 5.2 宇宙天気製品が意思決定に反映される程度に明瞭且つ実践可能となるように整備
- 5.3 宇宙天気業務に対する観測能力の基準値の確立および維持
- 5.4 観測のリードタイムおよび正確性の改善
- 5.5 宇宙天気に対する基本的な理解推進と、それに伴う予報燃えるの開発および持続的改善
- 5.6 研究から業務への移行プロセスの効果および適時性 (Timeliness) の改善

6. 国際協力の強化 (Increase International Cooperation)

- 6.1 グローバル課題としての宇宙天気に対する理解を深めるための、政策レベルにおける国際支援の構築
- 6.2 観測インフラ、データ共有、数値モデル、科学研究に関する国際コミュニティの連携強化
- 6.3 宇宙天気製品及びサービスに係る国際的共同作用および連携の強化
- 6.4 極度の宇宙天気イベントに対して備えるための協調的国際的アプローチの推進

NASA の関係者によれば、2017 年 6 月時点の各目標の取組状況は、以下の表のとおりである⁷⁹。なお、以下の「取組状況」は、あくまでも個別の目標や具体的な作業に向けた取組を開始していることを示したものであり、目標の達成度合いを示すものではない。NASA によれば、行動計画が発表されてから 20 ヶ月の間に 99 の小目標に対して目に見える成果があったという⁸⁰。

⁷⁹ http://www.ofcm.gov/meetings/SWEF/2017/4-1_Clarke.pdf (p.6-9)

⁸⁰ http://www.ofcm.gov/meetings/SWEF/2017/4-1_Clarke.pdf (p.7)

図表 12: 国家宇宙天気戦略と行動計画の取組状況(2017年6月時点)

戦略目標	取組状況	具体的な成果の例
1 宇宙天気イベントに対する基準値を確立する	約75%の小目標に対して反応あり、もしくは進行中	<ul style="list-style-type: none"> フェーズ1の基準策定は、パブリックコメントも反映し、ほぼ完了 最終版は2017年7月にはSWORMに提出済み
2 対応と復旧能力の強化	90%以上の小目標が完了、もしくは進行中	
3 保護と被害軽減策の改善	約85%の小目標が完了、もしくは進行中	
4 重要インフラへの影響評価、モデル化、予報の改善	約75%の小目標に対して反応あり、もしくは進行中	
5 理解と予報能力の向上による、宇宙天気サービスの改善	約75%の小目標が完了、反応あり、もしくは進行中	<ul style="list-style-type: none"> R2O2Rに関する今後の政府横断的な取組みの計画については、草稿が完成しており、パブリックコメントの受領も完了。2017年7月にSWORMに提出予定。 NASAとNOAAのR2Oに係るMOUは既に締結済み NASAとNSFのMOUの草稿は完成済み
6. 国際協力の強化	90%以上の小目標が完了、反応あり、もしくは進行中	<ul style="list-style-type: none"> 駐米イタリア大使館において「Space Weather as a Global Challenge 2017」を開催(20カ国から100名以上が参加)

出典: NASAの資料を基に作成⁸¹

1.2.2 大統領令「宇宙天気イベントに備えた取組の調整」の発布(2016年10月)

国家宇宙天気戦略と行動計画の発表後、およそ1年後に発表されたこの大統領令では、SWORMの創設を定め、戦略や行動計画の政府横断的な履行を促すと共に、以下の様な取組の実施を定めている⁸²。

(a)この命令の日から120日以内に、エネルギー長官は、国土安全保障長官と協議の上、電力網上の地磁気障害の影響を軽減するために利用可能な機器を試験・評価する計画を策定する。

(b)この命令の日から120日以内に、通信、エネルギー、交通、水道等の国家インフラ保護計画(2013年)で定義された生命に関わる重要インフラ機能を監督する事業所管省庁の長は、原子炉、材料、廃棄物の部門と同様、宇宙天気イベント中及びその前後、重要インフラの運営、機能及びサービスに対する指揮、停止または制御を行うための行政上・法制上の権限を評価する。

⁸¹ http://www.ofcm.gov/meetings/SWEF/2017/4-1_Clarke.pdf (p.6-9)

⁸² <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2016/10/13/executive-order-coordinating-efforts-prepare-nation-space-weather-events>

(c)上記(b)に記載された評価を受領してから90日以内に、小委員会は、これらの評価結果に関する報告書をOSTP長官、国土安全保障及び対テロを担当する大統領補佐官及びOMB長官に提出する。

(d)この命令の日から60日以内に、国防長官、商務長官、NASA長官及びNSF長官は、必要に応じて他の機関と協力して、宇宙天気の観測、モデル、予報を向上させるやり方、また研究から運用、運用から研究といった能力の適切な維持と移行のためのやり方について、可能な範囲で産学と連携しながら明らかにする。

(e)この命令の日から120日以内に、国防長官及び商務長官は、宇宙天気予報や状況認識におけるモデルの更なる検証・改善のため、2013年5月9日の大統領命令13642に従って、GPS及びその他の米国政府の衛星からの履歴データを公表するものとする。

(f)この命令の日から120日以内に、国土安全保障長官は、連邦緊急事態管理庁長官を通じて、関係機関との協議の上、連邦資産の調整及び、差し迫った宇宙天気イベントが通知された際の対応及び保護活動のための、調整された政府の作戦概要とそれに伴うチェックリストの作成を主導する。作戦概要とチェックリストの発行から180日以内に、各政府機関は、差し迫った宇宙天気イベントへの備え、それからの保護及びその被害軽減のための手順と責任を文書化した運用計画を策定しなければならない。

1.2.3 連邦エネルギー規制委員会による地磁気擾乱の安全基準承認(2016年9月)

州間の電力や天然ガス、(パイプラインを通した)石油の移動や販売を規制する機関である連邦エネルギー規制委員会(FERC)は2016年9月、米国のエネルギー伝送システムへの磁気嵐(geomagnetic disturbance、地磁気じょう乱)の影響に備えるため、新しい安全基準を承認した。FERCはこの安全基準を基に、各登録事業者の既存の伝送システムの評価を行い、評価に満たなかったシステムについては、要件を早期に満たすよう、改善も求めている⁸³。NOAAの関係者によれば、NOAAは現在、このFERCの基準承認と国家宇宙天気戦略を基に、宇宙天気観測・予報サービスを増強している⁸⁴。

FERCが承認した安全基準は、FERC傘下の北米電力信頼度協議会(NERC)によって提出されたものである。FERCはNERCに対し、磁気嵐の観測データの収集と公開を要件に含むよう命じたほか、評価に満たなかった伝送システムに対しては1年以内に改善プランの策定を行い、ハードウェア以外については2年以内の改善を、ハードウェアについては4年以内の改善を求める文言も含むよう求めた⁸⁵。

⁸³ <https://www.ferc.gov/whats-new/comm-meet/2016/092216/E-4.pdf> (p.1-2)

<http://www.elp.com/articles/2016/09/ferc-approves-reliability-standard-on-geomagnetic-disturbances.html>

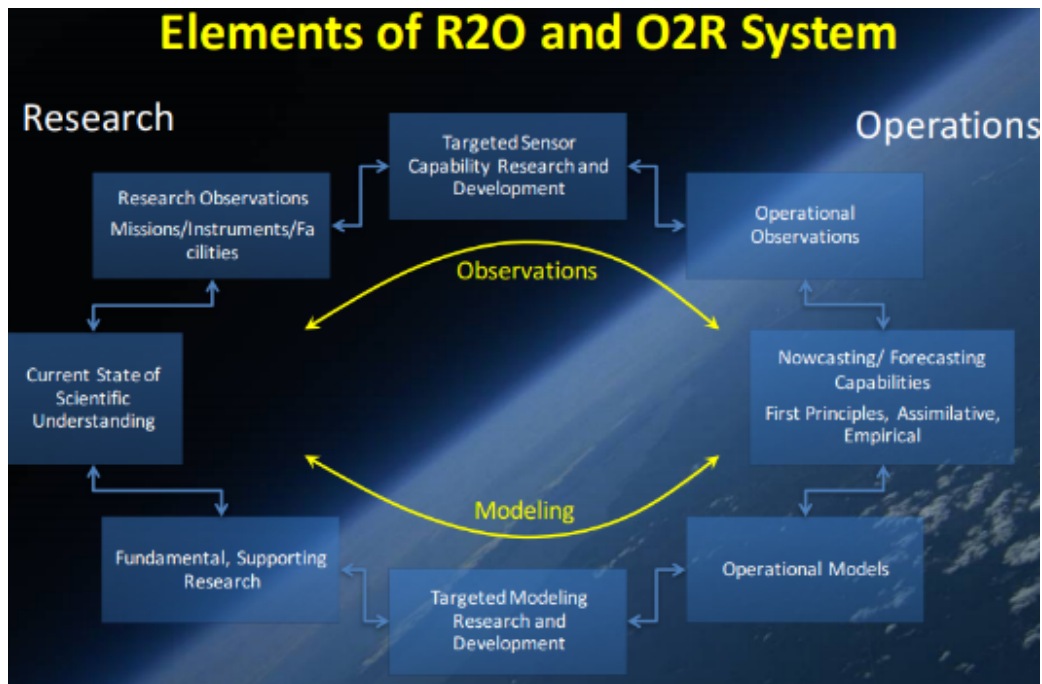
⁸⁴ http://www.ofcm.gov/meetings/SWEF/2017/3-3_Uccellini.pdf

⁸⁵ <http://www.elp.com/articles/2016/09/ferc-approves-reliability-standard-on-geomagnetic-disturbances.html>

1.2.4 R2O/O2R 向上を目指した産学官連携

オバマ政権下で進められた宇宙天気関連の取組において強調された概念に、「R2O(Research to Operation: 研究から業務へ)」と、「O2R(Operation to Research: 業務から研究へ)」がある。R2Oは、研究成果をより効果的に実際の業務に生かすことを目的とした概念であり、O2Rはその逆に実際の業務の成果をより効果的に研究に生かすことを目的とした概念である。下記の図は、R2OとO2Rを構成する要素を整理したものである。

図表 13: R2O と O2R の要素

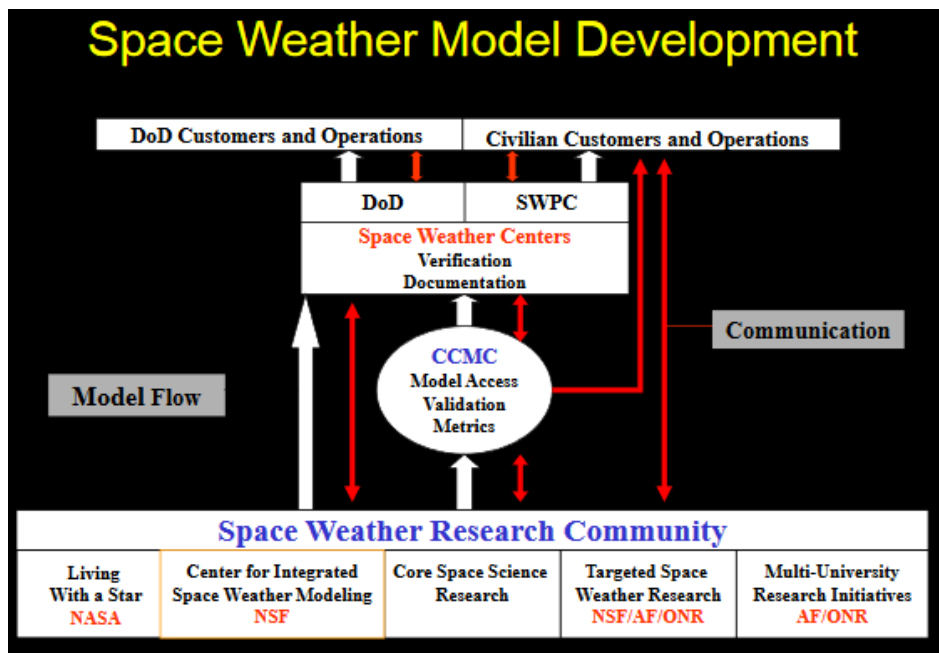


出典: NOAA⁸⁶

R2OとO2Rを強化するという事は、言い換えれば連邦政府内で宇宙天気の観測や予報を主導する組織と、補助的な研究開発を行う組織との間の連携を強化するという事である。例えば、NASAやNSF、米空軍研究所等の研究開発組織が宇宙天気モデルのサンプルを開発した場合、サンプルは省庁横断共同活動であるコミュニティ連携モデリング・センター(CCMC: Community Coordinated Modeling Center)や、国防総省とNOAAの予報センターにそれぞれ送られ、モデルの妥当性の分析・確認等が行われる。妥当性が認められたモデルは、国防総省とNOAAのそれぞれの予報センターより、軍事・民間ユーザーに配布され、実地での有効性が判断される(以下図参照)。

⁸⁶ <http://www.testbeds.noaa.gov/events/2016/workshop/presentations/2016-NOAA-TBPG-Workshop-Roundup-SWPT.pdf> (p.19)

図表 14: 宇宙天気モデル開発における R2O と O2R の構図



出典: コロラド大学⁸⁷

R2OとO2Rの向上は、国家宇宙天気戦略の行動計画上でも明記されており、同行動計画の第5目標では以下のとおり、NASAとNSFがR2O向上を主導し、商務省と国防総省がO2Rを主導するように示されている⁸⁸。

図表 15: 国家宇宙天気戦略の行動計画における R2O、O2R 向上についての記述

5.6.1 NASAとNSFが主導し、商務省と国防総省の協力も仰いだ上で、研究モデリングと予報センターの間の連携を促す公式的なプロセスを策定する。このプロセスでは、宇宙天気研究モデルの実際の業務における利用を促進し、既存の研究モデルを維持・改善するために必要な実証、検証、認証の役割と責任を明確化させる(行動計画発表後、6ヶ月以内)。

5.6.2 商務省と国防総省が主導し、NASAやNSFの協力も仰いだ上で、宇宙天気予報モデルの改良、実証、維持に注力する。これにより、学术界や民間の取組を支援したり、実務者から研究者へのフィードバックを徹底することが可能であり、実務的な宇宙天気の予報が改良されることが考えられる(行動計画発表後、6ヶ月以内)。

出典: 国家宇宙天気戦略の行動計画⁸⁹

⁸⁷ http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SWW_Baker_2017.pdf

⁸⁸ https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final_nationalspaceweatheractionplan_20151028.pdf (p.27)

⁸⁹ https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final_nationalspaceweatheractionplan_20151028.pdf (p.27)

一方で、R2OとO2Rには、それぞれ課題がある。例えばR2Oの課題は、研究成果を実際の業務に活用するまでの間に、膨大な予算が必要となるほか、スケジュールの遅れやデータ不足等が深刻な事態を生む可能性がある⁹⁰。またO2Rの課題としては、研究者らが応用研究向けの予算を獲得するのが困難であること、研究者らが実際の業務で活用されているコード等へのアクセスが無いこと、業務実施側に新しい物理概念やアルゴリズムを用いてコードを更新する事が出来るだけの科学的な知識が不足していること等が挙げられる⁹¹。

A. 事例①: NASAの取組

R2Oに向けた取組

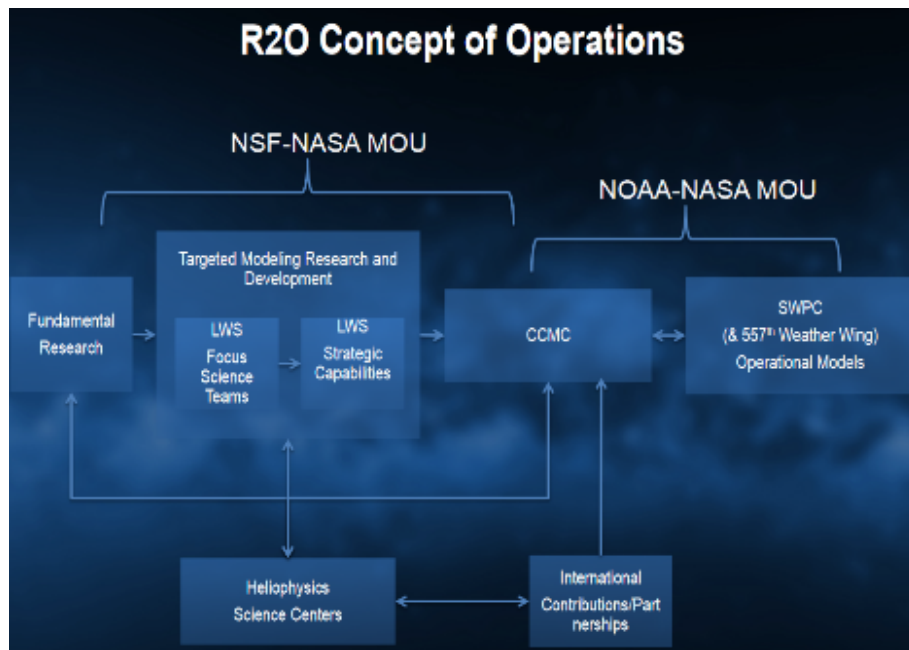
以下の図は、NASAにおけるR2O促進に係る取組の構想図である。基礎研究(図の一番左)で開発された技術は、前述のリビング・ウィズ・ア・スタープログラム(LWS)のモデリング研究と開発に応用された後、コミュニティ連携モデリングセンター(CCMC: Community Coordinated Modeling Center)の活動へと応用が期待される。またCCMCとNOAAの宇宙天気予報センター(SWPC)の間でも、R2O向上に向けた連携やコミュニケーション、フィードバック等が期待される。LWSの取組にはNASAの太陽系物理学局(Heliophysics Division)が、CCMCでの取組には他国が支援を行うことも図の下部に示されている⁹²。

⁹⁰http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281710%29%20CL_Space%20Weather%20R2O%202017%20v2.pdf (p.9)

⁹¹<http://www.testbeds.noaa.gov/events/2016/workshop/presentations/2016-NOAA-TBPG-Workshop-Roundup-SWPT.pdf> (p.18)

⁹²http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281430%29%20NASA%20R2O%20Update_02May2017_Steven%20Clarke_Talaat%20presenting.pdf (p.4)

図表 16: NASA における R2O 促進に関する取組概観



出典: NASA⁹³

なお、上の図で示されているとおり、基礎研究と LWS、CCMC の活動については、国家宇宙天気戦略で NASA と全米科学財団 (NSF) が結ぶように定められている、MOU の枠組みで支援される予定である。この MOU については、2017 年 10 月時点では、まだ内容の精査・検討の最中であり、最終化はされていない。NASA と NSF は、「宇宙天気の演算性 (Computational Aspects of Space Weather、仮)」と呼ばれる研究助成金プログラムも新たに立ち上げる予定であり、2018~2020 会計年度までの 3 年間に亘って、民間の研究機関や大学等に対し、助成金を支払う計画である。この助成金プログラムには、NASA からは LWS の予算より、毎年最大で 2 万ドルが付与される予定である⁹⁴。

また上の図では、CCMC と SWPC 間の R2O 向上に関する連携は、NOAA と NASA が結ぶ MOU をベースとすることが示されているが、この MOU については 2017 年 5 月に締結されている。6 月にはキックオフミーティングも開催されたが、詳細については不明である⁹⁵。

O2R に向けた取組

NASA、NSF、NOAA は、O2R を促進する事を目的としたパイロットプロジェクトを 2018 会計年度中に実施することを検討している。このプロジェクトは、国家宇宙天気戦略の行動計画に対する同三組織の回答という位置づけであり、宇宙天気の予報モデルの改善が大きな目標となっている。第一フェーズとして、一つの

⁹³ http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281430%29%20NASA%20R2O%20Update_02May2017_Steven%20Clarke_Talaat%20presenting.pdf (p.4)

⁹⁴ http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281430%29%20NASA%20R2O%20Update_02May2017_Steven%20Clarke_Talaat%20presenting.pdf (p.4)

⁹⁵ <http://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2017/ISWI%20Boston/ISWIBostonDay1/09.pdf> (p.12)

プロジェクト、もしくは複数のプロジェクトを実施し、その成功や反省点を検討した上で、O2R プロセスの確立を目指すとされている⁹⁶。

同プロジェクトでは、宇宙天気の予報モデルを構築するためのデータの収集と統合を行う予定で、天文学研究のための大学連合 (Association of Universities for Research in Astronomy) が運営している国立太陽天文台 (National Solar Observatory) が収集する Global Oscillation Network Group のデータや、ダニエル・K・イノウエ太陽望遠鏡 (Daniel K. Inouye Solar Telescope: DIKIST) が取得したデータ等が活用されると見られる。同三組織はそれぞれ、50 万ドルずつを同プロジェクトに投じる予定である⁹⁷。

B. 事例②：国防総省の取組

国防総省は、R2O、O2R の向上に関し、特に以下の三つの取組に注力している⁹⁸。

- ①. R2O、O2R のプロセスにおける課題を特定、評価、縮小することができる兵士、文官の教育と訓練
- ②. その他政府機関や国防総省傘下の研究所、外部の研究や、民間セクターとの研究開発、試験、評価 (RDT&E) を通じた連携強化
- ③. 現場の兵士や文官のミッションや活動に資することができる宇宙天気オペレーターの創出 (現場の現在・将来のニーズの吸い上げと特定、民間との連携等)

例えば以下の図は、米空軍が提示している R2O、O2R を活用した兵士や文官の支援プロセスを示したものである。図の左半分では、研究所や科学者、民間組織が開発し、試験した観測や分析、予報技術がオペレーションセンターに送られ、これらの方法を基にオペレーションセンターはミッションや利用者に特化したサービスやアプリケーションを複数の秘密区分レベルに応じて作成する。このプロセスに十分な教育や訓練を受けた人材が携われれば、理論上、サービスやアプリケーションの開発段階で、不足している能力や課題を特定することが可能となる。これらのサービスやアプリケーションは、最終的に国防総省や米インテリジェンス機関等に活用される。実際の活用を通して得られたフィードバックや要件は、基本となる技術を開発した研究所や科学者、民間組織に送られ、次の段階の試験や開発に役立てられる⁹⁹。

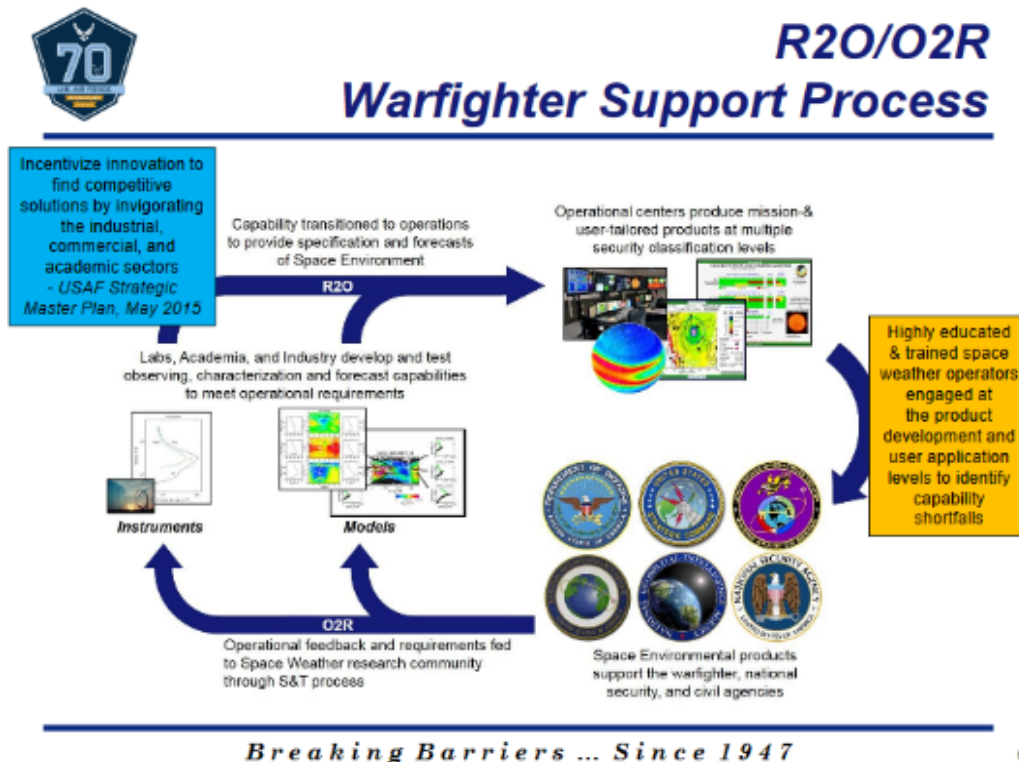
⁹⁶ <http://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2017/ISWI%20Boston/ISWIBostonDay1/09.pdf> (p.13)

⁹⁷ <http://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2017/ISWI%20Boston/ISWIBostonDay1/09.pdf> (p.13)

⁹⁸ <http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SWW%202017%20DoD%20Space%20Weather%20-%20Final.pdf> (p.5)

⁹⁹ <http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SWW%202017%20DoD%20Space%20Weather%20-%20Final.pdf> (p.6)

図表 17: 国防総省による R2O、O2R を活用した現場支援システム



出典: 米空軍¹⁰⁰

また国防総省は NOAA と連携し、商用宇宙天気観測データを政府のミッションに活用するためのパイロットプログラム「商用天気データパイロットプログラム (Commercial Weather Data Pilot Program)」も運営している。同省は GPS 電波えんぺい電子密度データ (GPS RO Electron Density data) に焦点を当てて、商用データの評価を行うことを予定しており、商用の電離層データを反映した場合としなかった場合とで、国際電離観測融合モデル (GAIM: Global Assimilation of Ionospheric Measurements) のパフォーマンスを比較する。最終的に、商用の電離層データが軍事的に利用価値があるのかを判断する。NOAA も同様のプログラムを運営しており、NOAA 側では特に、商用の軌道上 GPS 電波えんぺいデータの評価を行っており、データの質や大気モデルへの反映価値を見定めている。国防総省は、同省と NOAA のそれぞれの取組は、お互いの取組に役立つものだとしている¹⁰¹。

1.3 トランプ政権における動向

現政権のトランプ政権は、2017 年 3 月と 5 月にそれぞれ発表された 2018 年度大統領予算案の大枠と詳細版において、NASA や NOAA 等の関連政府機関の予算を削減する案を提示した。宇宙天気関連では、

¹⁰⁰<http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SWW%202017%20DoD%20Space%20Weather%20-%20Final.pdf> (p.6)

¹⁰¹<http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SWW%202017%20DoD%20Space%20Weather%20-%20Final.pdf> (p.7)

太陽フレアなどの観測を目的とした NOAA の人工衛星「DSCOVR」の予算をミッション終了前に削減し、DSCOVR の後継への引継ぎに係る予算も凍結すると発表された。この大統領予算案に対しては、一部の連邦議員や NASA・NOAA の職員、その他の有識者から反対の声が上がっていた¹⁰²。

その後、連邦議会において関連予算に係る審議が行われたが、常任委員会レベルで合意された法案には、大統領が提案した様な大幅な予算削減の条項は含まれなかった。宇宙天気関連予算として下院、上院の歳出委員会はそれぞれ、850 万ドル、500 万ドルを提示した(大統領が提示した予算は約 50 万ドル)。上院歳出委員会が発表した法案に関する報告書では、「連邦政府は、厳格な宇宙天気事態より、通信や電機インフラを保護するための警告を早期に発布できるように、運用可能な宇宙天気アーキテクチャを維持する必要がある」という趣旨の内容が含まれており、宇宙天気関連予算の重要性がアピールされた。一方で同委員会は、NOAA に対し、比較的安価な衛星(NASA の Explorer 衛星と同程度のもものとされる)を活用するよう求めており、2018 年度予算についても、詳細な使い道を報告するように命じている¹⁰³。

結局これら法案は可決されなかったと見られ、2018 年度の予算は継続予算決議(continuing resolution)¹⁰⁴によって賄われることとなった。しかしながら、これらの法案を通して、連邦議会と大統領府の間で宇宙天気に対する姿勢に違いがあることが明らかとなった。

1.4 連邦議会の動向

1.4.1 宇宙天気研究・予報法案(2016 年、2017 年)

連邦議会においても、オバマ前政権の国家宇宙天気戦略の発表後、宇宙天気についての議論が活発化している。連邦議会側で関連議論を主導していると思われる議員の一人は、オバマ前大統領と同じく民主党のギャリー・ピーターズ上院議員(Gary Peters: ミシガン州選出)であり、同議員は 2016 年 4 月と 2017 年 1 月にそれぞれ、『宇宙天気研究・予報法案(S.2817、S.141-Space Weather Research and Forecasting Act)』を上院に提出している。これらの法案には、どちらも国家宇宙天気戦略やその行動計画の遂行を議会側から支援する様な内容が含まれている。この法案が各組織に提案している関連取組の内容例は、以下のとおりである。

¹⁰² <http://www.sciencemag.org/news/2017/03/trump-budget-would-shutter-goesat-delivering-blow-exoplanet-research>

<https://www.space.com/36989-nasa-budget-cancels-five-earth-science-missions.html>

<http://spacenews.com/senate-follows-house-lead-in-criticizing-nasa-budget-cuts/>

¹⁰³ <http://www.parabolicarc.com/2017/08/07/noaa/>

<https://www.congress.gov/congressional-report/115th-congress/senate-report/139/1>

¹⁰⁴ 歳出法案が成立するまで、暫定的に前年度水準の支出を認め、政府閉鎖を防ぐための措置。

図表 18: 2017 年宇宙天気研究・予報法案(上院追加バージョン)の提案内容の例

提案先	提案内容の例
科学技術政策局 (OSTP)	<ul style="list-style-type: none"> 米科学技術政策局(OSTP)は、潜在的な宇宙天気の深刻な被害・影響に対し備え、回避し、被害を最小化するための枠組みを連邦政府内に構築すること。 OSTP は、宇宙天気についての省庁横断的なワーキンググループ(Space Weather Interagency Working Group)や、国家科学技術会議(National Science and Technology Council)の様な枠組みを用いて、省庁間や機関間の連携を強化すること¹⁰⁵。 OSTP は連邦議会に対し、今後の宇宙ベースの観測計画についての情報を含む、省庁横断的な統合戦略について報告を行うこと。
NASA	<ul style="list-style-type: none"> NASA と NOAA は、宇宙天気観測用の宇宙船、機器、技術開発に向けた連携や協力を強化するために、少なくとも 1 件以上の組織間契約(MOU など)を結ぶこと。
NOAA	<ul style="list-style-type: none"> SOHO や LASCO の不具合があった場合でも、宇宙天気の予報が続けられるように、緊急対応計画を策定すること。 宇宙天気イベントから国家の重要インフラを保護するために、NOAA は DHS に対して宇宙天気の危険についての情報を共有すること。 国防総省と連携し、宇宙ベースの観測に必要な要件及び計画を策定すること。
国防総省 (DOD)	<ul style="list-style-type: none"> OSTP、NOAA、NASA、NSF と連携し、太陽および太陽風の観測に必要な統合戦略を構築すること。 NOAA と NASA と協力し、準リアルタイムのコロナ質量放出画像を取得可能な複数の設備を構築・配備すること。 NOAA と連携し、今後の業務に必要な宇宙ベースの観測設備の要件および計画を開発すること。 NSF、NASA と連携し、太陽物理学、地球空間学、宇宙天気に係る基礎研究を引き続き実施すると共に、宇宙天気やその影響に係る研究やモデリング、観測に係る研究を支援すること。
国家安全保障会議 (NSC)	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙天気イベントに対する、国家安全保障大気の脆弱性を評価すること。 宇宙天気脅威から国家安全保障アセットを保護するためのメカニズムを構築すること。
米国立科学財団 (NSF)	<ul style="list-style-type: none"> 太陽用の地上観測設備を維持、改善すること。 レーダーや LIDAR、磁力計、ラジオ受信機、オーロラや大気光のイメージャ、分光計、干渉計、太陽観測所等を含む地上観測設備から集められた宇宙天気データを供給すること。 宇宙天気モデルの研究開発に役立つ、主要なデータを供給すること。 科学的目的のための試用モデルを複数開発すること。 開発したモデルの実用化を支援すること。
国土安全保障省 (DHS)	<ul style="list-style-type: none"> 国家の重要インフラについての報告要件を満たすために、宇宙天気イベントに対する重要インフラの脆弱性についての評価を行うこと 宇宙天気に関連するリスクや影響を管理するために、重要インフラプロバイダに対して支援を提供すること。

¹⁰⁵ <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/senate-bill/2817?q=%7B%22search%22%3A%5B%22%5C%22Space+Weather%5C%22%22%5D%7D&r=3>
<https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/141?q=%7B%22search%22%3A%5B%22%5C%22Space+Weather%5C%22%22%5D%7D&r=2>

提案先	提案内容の例
連邦航空局 (FAA)	<ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙天気イベントの国家航空システムに対する影響や脆弱性を評価すること。 ● 航空システム、航空機管制システム、衛星・地上管制システム、放射線被ばくの際の潜在的な健康被害等の宇宙天気の影響を緩和する手段を評価すること。 ● パイロットやクルー、運航管理者(ディスペッチャー)、航空管制官、気象学者、エンジニア等の業務訓練に、宇宙天気に関する内容を含めることができるか評価を行うこと。 ● FAA は、航空コミュニティと宇宙天気の研究、サービス提供コミュニティとの間の連携を強化する様な方策を開発すること。

出典：米議会調査局(CRS)の法案概要を基に作成¹⁰⁶

2016年4月に提出された2016年版の法案は、結局2016年の会期末までに可決されず、担当委員会であった上院科学委員会内部における審議止まりとなったと見られる。しかしながら、同法案に対しては、上院商業、科学、運輸委員会の依頼もあり、連邦議会予算事務局(CBO)が同法案を可決、施行した際の予算見積もりも実施した。CBOの見積もりによれば、この法案を施行した場合、2017~2021年の間に約2億1100万ドルが割り当てられ、1億8,200万ドルが実際に拠出される¹⁰⁷。

2017年1月に提出された2017年版の法案は、前年のバージョンとほぼ中身は同じである。同法案は2017年5月に上院を通過し、2017年11月時点で下院側の審議が進んでいるところである。また同年6月には、コロラド州選出のエド・パールミュッター下院議員(Ed Perlmutter: 民主党)が、ピーターズ上院議員が上院に提出したのと同名の法案(H.R.3086 - Space Weather Research and Forecasting Act)を下院に提出した。この下院側の法案も、2017年末時点では下院内で審議が進められている¹⁰⁸。

1.4.2 米陸上交通修復法 (FAST 法、2015 年)

オバマ前大統領が2015年12月に署名し、法制化された米陸上交通修復法(Fixing America's Surface Transportation [FAST] Act)にも、電力グリッドに対する物理的な攻撃やサイバー攻撃、地磁気擾乱の潜在的影響を軽減するよう求める文言が含まれており、前述の宇宙天気研究・予報法案と同様に、近年の宇宙天気関連の連邦政府の取組として、注目されている¹⁰⁹。

FAST法の第61004条では具体的に、DOEに対し、重要な電力施設や安全保障・米軍の活動に関わる施設の変圧器が、物理攻撃やサイバー攻撃、電磁パルス攻撃、地磁気擾乱、悪天候、地震等の影響を受けた場合に、その機能を補完するための戦略的変圧器予備(Strategic Transformer Reserve)を設営する計画を提出するように求めている。提出期限はFAST法施行から1年以内とされている¹¹⁰。

¹⁰⁶ <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/141>

¹⁰⁷ <https://www.cbo.gov/sites/default/files/114th-congress-2015-2016/costestimate/s2817.pdf>

¹⁰⁸ <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/3086/actions?q=%7B%22search%22%3A%5B%22%5C%22Space+Weather%5C%22%5D%7D&r=1>

¹⁰⁹ https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/ssbsite/documents/webpage/ssb_174731.pdf (p.3)

¹¹⁰ <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/22>

2 宇宙天気に関する民間セクターの動向

2.1 米商用宇宙天気協会(ACSWA)

米商用宇宙天気協会(ACSWA: American Commercial Space Weather Association)は、コロラド州ボルダー近郊の宇宙天気関連組織らが中心となって2010年に創設された業界団体である。同協会は、米国にとって重要な技術への宇宙天気リスクを最小化するために、関連データやサービスの提供を行っているほか、政府機関へのアドバイザーサービスの提供、米民間組織らの宇宙天気観測、データ収集、分析などの能力の米国内外への発信等を主な役割としている¹¹¹。2010年の創設時に5組織であったACSWAのメンバー組織は、2013年には14にまで増え、2017年時点では18組織が同協会に、加盟している¹¹²。

ACSWAのメンバー組織の一社であるGeoOptics社は、ACSWAの活動や今後の宇宙天気に対策についての提案等の情報発信を活発的に行っている。2005年に創設された同社は、カリフォルニア州パサデナに拠点を構え、地球観測データの収集や分析を専門とする。社員数は20名以下と見られるものの、幹部陣にはNOAAや米軍の元職員等が含まれる。2016年9月には、米Spire社(カリフォルニア州サンフランシスコ)と共に民間企業として初めて、NOAAと商用気象データ販売契約を取り交わした(契約額はSpire社37万ドル、GeoOptics社69万5,000ドル)¹¹³。

GeoOptics社の関係者は、NOAA等の政府機関が主催する会議やワークショップで講演を行っているほか、複数回に亘って連邦議会の公聴会で証言を行っている。例えば2013年5月に開催された下院科学・宇宙・技術委員会の公聴会では、質の高い商用データをもっと活用し、宇宙天気の観測や分析をより効果的に進める事等の提案を行った¹¹⁴。

国家宇宙天気戦略の中でR2O、O2Rの重要性が強調されていることもあり、近年GeoOptics社は、民間企業によるR2O、O2R改善の取組についての提言を行っている。同社はR2O、O2R改善における民間の強みとして、民間における研究開発は常に商用化を意識しているため効率が良いこと等を主張し、連邦政府に対し、中小企業向けの助成金や技術移転プログラムである中小企業技術革新研究プログラム(SBIR: Small Business Innovation Research)や中小企業技術移転プログラム(STTR: Small Business Technology Transfer)、関連規制の緩和などを通して、産学官でR2O・O2R向上に取り組むよう提言している¹¹⁵。

以下の図は、同社が提案する産学官の連携案を図解したものであり、公共安全や規制に関心が強い政府と、研究人材やナレッジが豊富な学术界、効率や経済的利益に関心が強い産業界の三つが、宇宙天気関連の助成金や研究成果、ノウハウをやり取りすることで、サービスや製品の価値を向上できるとされる¹¹⁶。

¹¹¹ <http://www.acswa.us/about/members.html>

¹¹² <http://www.acswa.us/about/members.html>

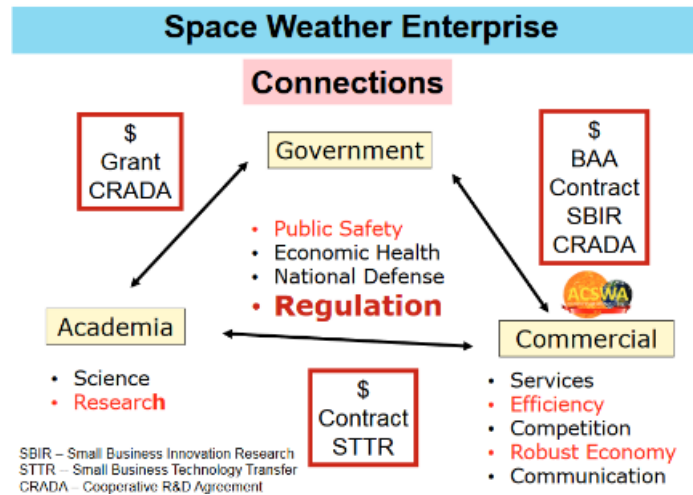
¹¹³ <http://spacenews.com/two-companies-win-first-noaa-commercial-weather-contracts/>

¹¹⁴ <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CHRG-113hhrg81196/pdf/CHRG-113hhrg81196.pdf> (p.31-35)

¹¹⁵ http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281710%29%20CL_Space%20Weather%20R2O%202017%20v2.pdf

¹¹⁶ http://www.ofcm.gov/meetings/SWEF/2017/3-4_Lautenbacher.pdf (p.4-5)

図表 19: GeoOptics 社による宇宙天気分野の産学官連携案



出典: GeoOptics 社¹¹⁷

2.2 Space Hazards Applications

世界的に衛星を利用したサービスから得られる収益が増加傾向にあり、OneWeb や SpaceX が大規模な低軌道衛星群を構築しているほか、衛星画像分野でも大手 Digital Globe のほか、近年注目を集めている Terra Bella や Planet Labs 等の台頭も目覚ましく、それぞれのビジネスに対する宇宙天気の影響への関心も、近年増加する傾向にある。

NOAA の宇宙天気予報センターにて、衛星群から得られる放射線データの観測や、リアルタイムの放射線異常解析ツールの開発を主導していたジャネット・グリーン氏 (Janet Green)¹¹⁸が 2014 年に立ち上げた、宇宙天気の仕組み・影響の研究、解析、アドバイザー業務を担う中小企業 Space Hazards Applications (コロラド州ゴールデン) は、衛星事業者や製造者とのインタビューや会議を基に、衛星業界における宇宙天気の影響に対する理解や課題を特定した論文を発表した。この論文において同社は、現在の課題として、(1) 衛星の異常の要因を迅速に特定するためのツールの不足、(2) 訓練、(3) 衛星事業者と製造者間の情報共有の三つを挙げている¹¹⁹。

また同社は 2016 年、米小企業庁 (SBA) が中心となって運営している中小企業技術革新研究プログラム (SBIR: Small Business Innovation Research) の枠組みの中で、11.8 万ドルを獲得することに成功した。SBIR は中小企業の研究開発を支援する目的で付与されており、Space Hazards Applications 社は、この助成金を活用して、衛星事業者向けの宇宙天気、特に衛星帯電に焦点を当てた観測・分析ツール「A

¹¹⁷ http://www.ofcm.gov/meetings/SWEF/2017/3-4_Lautenbacher.pdf (p.5)

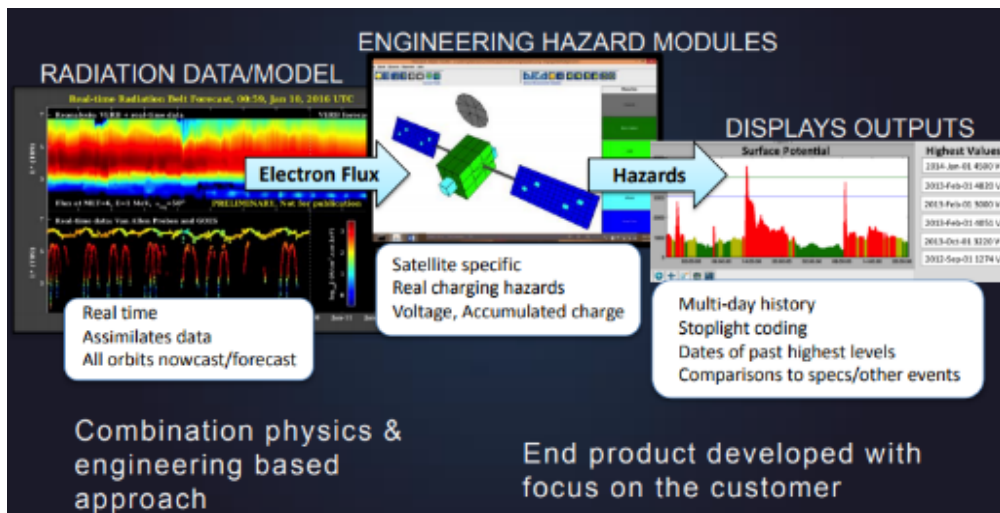
¹¹⁸ <http://spacehaz.com/spacehaz.com/company.html>

¹¹⁹ <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2017SW001646/full>

Satellite Charging Assessment Tool (SatCAT) の構築を目指している。同社によれば、衛星帯電はソーラーレイへのダメージやコマンドへの干渉、パーツの損害等を引き起こす可能性がある¹²⁰。

以上の様な問題意識を基に、同社は SatCAT プロジェクトの枠組みで、①衛星業界関係者と意見交換を行い、それぞれの観測・分析ツールに対するニーズを聴取する、②SatCAT のプロトタイプを構築することを目指している。このプロトタイプは、放射線環境モデルと取得されたデータを応用し、リアルタイムに単一の衛星構造への影響を解析する機能を備える予定となっている¹²¹。

図表 20: SatCAT の構想図



出典: Space Hazards Applications¹²²

同社が 2016 年に SBIR から得た助成金は、フェーズ 1 に区分されており、同社はフェーズ 2 において約 2 年間で費やし、ユーザーの情報を守るセキュアなログインシステムの構築や、特定の軌道についての新データの作成、システム画面の改善等を行う予定である。フェーズ 2 の終了後には、SatCAT の実用化が予定されている¹²³。

2.3 Delta Air Lines

米大手航空会社の Delta Air Lines は、OFCM 等が中心となって毎年開催している宇宙天気会議「宇宙天気エンタープライズフォーラム (Space Weather Enterprise Forum)」において、定期的に講演を行っており、2017 年 5 月に開催された同会議でも「宇宙天気: 航空会社の視点 (Space Weather: An Airline Perspective)」と題した講演を行った。同社によれば、航空業界に対する宇宙天気の影響は大きく分けて二

¹²⁰ <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1241641>

¹²¹ <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1241641>

¹²² <http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281400%29%20SWW2017jgreen.pdf> (p. 13)

¹²³ <http://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281400%29%20SWW2017jgreen.pdf> (p. 17-18)

つあり、一つは無線通信システムへの影響、もう一つは乗客やクルーの健康への影響である¹²⁴。航空会社によって、正確かつタイムリーな宇宙天気予報は、乗客やクルーの安全を守ると共に、効率的な運行を行う上でも重要なものである。

例えば Delta Air Lines は、NOAA の宇宙天気予報センターの情報に依存しており、同センターの出すラジオ・ブラックアウト、太陽嵐、磁気嵐の三つの予測に注目し、これらの影響が同センターの 5 段階の影響基準(1 が最小、5 が最大)のうち、3 段階を超えた時点で、乗客やクルーへのアラート発布や、飛行ルートの変更などの対応を取るようになっている。以下の図は、三つのそれぞれの影響レベルに応じて同社が取る対応を整理したものである。太陽嵐と磁気嵐の脅威レベルが 3 を超えた場合には、Delta Air Lines は極圏航路を避けるため、飛行ルートを変更する様になっている。また影響のレベルが低い場合でも、クルー本人が望めば、極圏航路を通過するシフトから、妊娠中のクルーを除外する対応もしている¹²⁵。

図表 21: 宇宙天気の影響と Delta Air Lines の対応整理

Solar Storms						
Type of Storm	Sun → Earth	Duration	Affects			
Abbrev.	Travel Time	Average	Aviation	Earth	Time	
Radio Blackout	R Storm	8 minutes	A few Hours	HF Radio	Equator	Daylight
Solar Radiation	S Storm	Approx. < 1 hour	< 1 day	HF Radio & Health	Poles	Any
Geomagnetic	G Storm	Approx. 18-24hrs	1-2 days	HF Radio	Poles	Any

Flight Superintendent Actions					
Type of Storm	Storm Scale				
Abbrev.	1	2	3	4	5
Radio Blackout	R Storm	None	None	Awareness – HF issues on sun lit side	
Solar Radiation	S Storm	None	Aware	Avoid 78N to the Pole	
Geomagnetic	G Storm	None	Aware	Avoid 82N to the Pole	

出典: Delta Air Lines¹²⁶

航空会社が宇宙天気に配慮し、安全を優先して飛行ルートを変更した場合、飛行距離や時間が延び、より多くの燃料が必要となったり、追加的な運用コストが発生することがある。コスト増は航空会社にとって大きな痛手となる場合もあるため、Delta Air Lines は長年に亘り、宇宙天気予報の性能改善要求すると共に、30 時間後の予測などの野心的すぎる予測は、航空会社の意思決定や運行を混乱させる可能性があるため、避けるべきと主張している¹²⁷。

¹²⁴ www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281140%29%202017%20SpaceWx%20Workshop-Delta%20Presentation-03May15.pdf (p.2, p.4)

¹²⁵ www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281140%29%202017%20SpaceWx%20Workshop-Delta%20Presentation-03May15.pdf

¹²⁶ www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281140%29%202017%20SpaceWx%20Workshop-Delta%20Presentation-03May15.pdf (p.11)

¹²⁷ www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/%281140%29%202017%20SpaceWx%20Workshop-Delta%20Presentation-03May15.pdf (p.12)

https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/SpaceWx_20minFINAL_ver3.pdf