

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）

科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム

研究開発プロジェクト（特別枠）

「環境政策に対する衛星観測の効果の
定量的・客観的評価手法の検討」

（英語表記 A Study on Methods for Objective/Quantitative Assessment of the
Impact of Satellite Observations on Environmental Policy）

研究開発実施終了報告書

研究開発期間 平成 25 年 10 月～平成 28 年 9 月

研究代表者 笠井 康子

所属 役職 情報通信研究機構 上席研究員

目次

1. 研究開発目標	2
1-1. 背景	2
1-2. 目標	2
1-3. 射程	3
2. 研究開発の実施内容	3
2-1. 実施項目	3
2-2. 実施内容	5
3. 研究開発成果	11
3-1. 成果の概要	11
3-2. 各成果の詳細	11
3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等	16
3-4. 成果の発展の可能性	16
4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動	16
4-1. 研究開発の一環として実施した会合・ワークショップ等	16
4-2. アウトリーチ活動	19
4-3. 新聞報道・投稿、受賞等	20
5. 論文、特許等	20
5-1. 論文発表	20
5-2. 学会発表	20
5-3. 特許出願	22
6. 研究開発実施体制	22
6-1. 体制	22
6-2. 研究開発実施者	22
6-3. 研究開発の協力者・関与者	22

1. 研究開発目標

1-1. 背景

地球上の人口が増えたことにより人為的起源放出物による環境問題が深刻となり、国際政策において議論されてきた。図1に主な地球規模の環境問題（オゾン層破壊、地球温暖化、大気汚染）、それらに対する国際政策、科学者からのインプット、さらに我が国の衛星ミッションを示す。これらいずれの環境問題においても、その実態の把握のために衛星観測が利用されてきたが、これら衛星観測が具体的にどのようなプロセスで政策決定に用いられたのかを定量的に明らかにする手法は確立されていない。

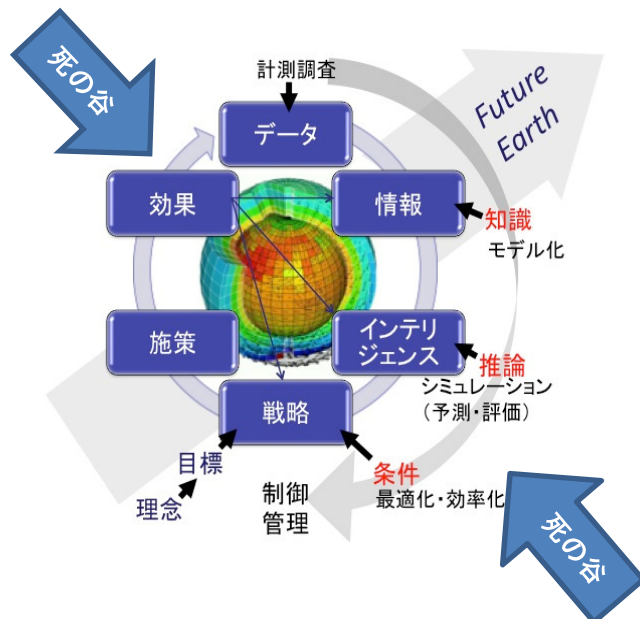
図1： 国際環境問題と衛星観測



1-2. 目標

「政策のための衛星観測イノベーションサイクル (Policy and Earth Observation Innovation Cycle)」は、Future Earth (*注2) 実現のロードマップの中でひとつの鍵となり得る重要な課題である。本プロジェクトの先にある最終的な目標は「政策のための衛星観測イノベーションサイクルが回る」社会を作ることである。サイクル駆動を実現するためには、イノベーションサイクルを断絶させている「Death Valley」要因である、「政策に対する衛星観測の効果の評価→衛星観測へのフィードバック」部分及び「インテリジェンスデータ」→「戦

図2： φOIC Policy and Earth Observation Innovation Cycle



略」の2カ所について連結が必要となる。(図2)。

しかし、これまで衛星観測の効果に対して定性的な見解は存在するものの、定量的評価は殆ど行われていない。それは、こうした評価が、多岐にわたる学際性を持ち、衛星観測技術及び政策という融合的な研究領域性から成り立つことに起因する。国内的には、研究分野が存在しないほぼ完全な新規開拓研究であり、定量的評価の実現は不可能だと思われてきたものである。

本プロジェクトでは、「衛星観測の効果の定量的な評価手法を新しく開拓すること」を目指す。これが実現すれば、「政策のための衛星観測イノベーションサイクル」を駆動させるドライビングフォースとなり、真に政策のための衛星観測提案を実施すること、すなわちイノベーションサイクルを回し政策のための衛星の実現への道筋を世界で初めて示すことができる。

注2: Future Earth(フューチャー・アース)は、持続可能な地球社会の実現をめざす国際協働研究プラットフォームとして、2012年に「国連持続可能な開発会議」(Rio+20)で提唱され、2015年に10年計画を開始。

(参照) <http://www.futureearth.org/>
<http://www.ir3s.u-tokyo.ac.jp/futureearth/>

1-3. 射程

地球環境施策に対する衛星観測の定量的評価は、様々なファクターが非線形にからむためにその道筋をつけるのが非常に困難である。我々はH25年度に過去の事例を含めた検討を行い、過去の政策ではあるが科学観測が政策形成に成功した事例として「オゾン層保護のためのウィーン条約(1985年採択、以下「ウィーン条約」)」に注目した。オゾン層保護の事例では、科学的な指摘から問題が社会化し、議定書の早期締結が実現され、衛星画像が定性的には一定の効果을及ぼしたと思われ、その改訂のプロセスにも衛星観測が影響を及ぼしている可能性があるためである。

2. 研究開発の実施内容

2-1. 実施項目

2-1-1. 【実施項目1: 政策における衛星観測の効果分析(手法の検討)】

先行研究の調査を行い、評価手法の適用可能性を分析、これに基づき、ウィーン条約及びオゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書(1987年採択、以下「モントリオール議定書」)の事例研究を行うための手法的枠組みを決定した。

さらに、平成27年度には、当初計画に追加して、本研究の目的に賛同した専門家によるアドバイザリー・ボードを設立。各国の便益分析検討の手法をまとめ、さらにガバナンス論に展開し、「地球観測レジーム・コンプレックス」の可能性を示唆しつつ、政策と科学のイノベーションサイクルを確立するためのモデル及び実際的な第一歩に関する提案をまとめた。【実施項目1-α】

2-1-2. 【実施項目2: 衛星データが政策決定過程に与える影響の事例研究】

科学技術の進展が政策決定にどのように影響を及ぼすかの事例研究として、国際社会でデータの共有が可能となった衛星センサーの普及が、衛星データにより検証が少なくとも一部可能な政策の進展を促すか否かを調査した。政策例としては、国際協力により環境改善に成功した条約体制としてのウィーン条約・モントリオール議定書とその後定期的に開催される締約国会議・締約国会合での合意事項の進展を選び、1970年代末期から2015年までの文献調査を実施した。

2-1-3. 【実施項目3: テキストマイニングを用いた環境政策と衛星観測の関連性の定量化】

環境政策と衛星観測という異分野の関連性を定量的に示すため、両者の共通項である「テキスト」に着目し、それぞれの代表文書を対象としたテキストマイニング解析を実施した。ここでは、

環境政策の代表文書はモントリオール議定書の改正と調整を議論する Meeting of the Parties (MOP) の報告書とし、衛星観測並びにオゾン層破壊の科学研究の代表文書は国連環境計画 (UNEP) のオゾン事務局に置かれた Scientific Assessment Panel (SAP) の報告書とした。

以下にこれらの相関関係を示したスキームを示す (図 3)。

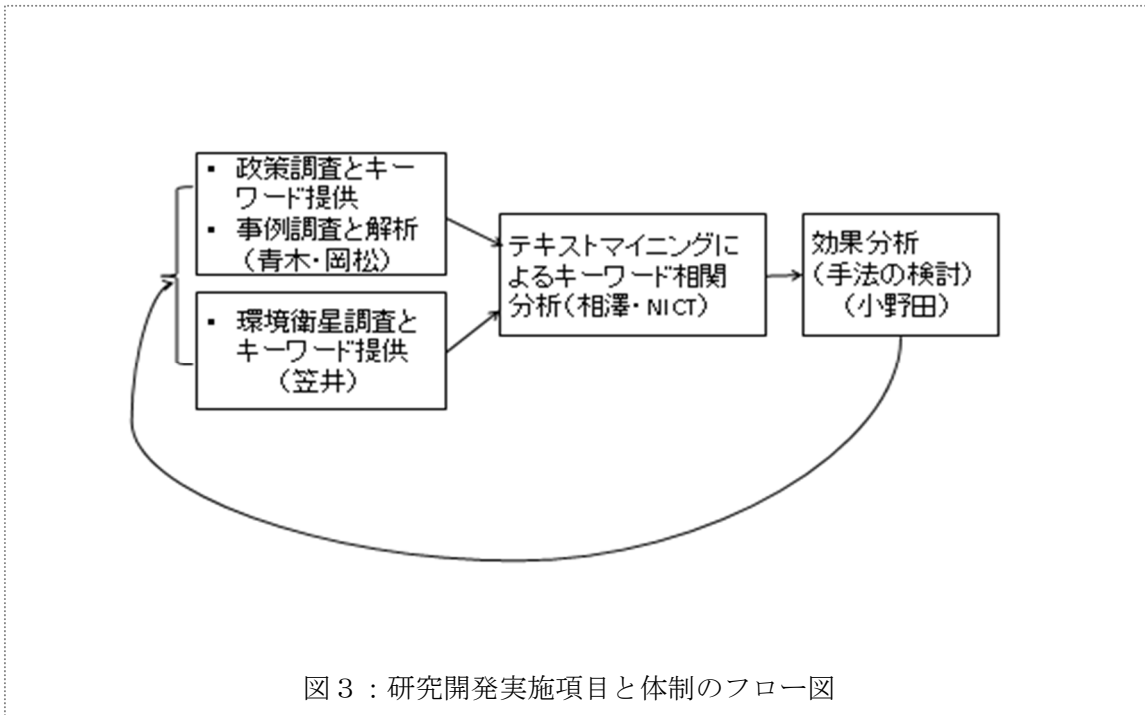


図 3：研究開発実施項目と体制のフロー図

また、実施項目とスケジュールを表に示す。

表： 研究開発のスケジュール

項目	平成 25 年度 (6 ヶ月)	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度 (6 ヶ月)
Death Valley 問題に対する検討 (全員)				
従来の手法で不成功の理由	←→			
「衛星観測の効果の定量的な評価手法の開拓」をどう実現するか		←→		
Phase-I 衛星オゾン層破壊観測がモントリオール議定書締結と改善に及ぼした影響の定量的評価				
オゾン層の保護で衛星観測→政策、政策→衛星観測の「Death Valley」をつなげた道筋の明示化 (小野田)		←→	Phase-II、Phase-αへ	
モントリオール議定書締結までの道筋と改訂における詳細の調査 (青木)		←→		
政策と衛星観測を関連づけるための文書セット作成と関連性の分析 (相澤)		←→		

衛星観測データと政策の関係における寄与度の高いセンサーの検討（笠井）（平成 26 年度終了。成果の公表については 27、28 年度も引き続き行う）						
Phase-II: オゾン層破壊だけではなく従来の衛星観測の効果を定量的に評価。死の谷を超えるための方法を含め、政策のための衛星観測イノベーションサイクルを回すための政策方針提案へ（全員）						
文書データベースの構築・運用、分析検討の実施（相澤・青木・小野田）				構築		運用・分析
データ利用量の調査・分析（小野田）						
科学論文及び新聞等データベースを用いたマイニング分析（笠井・相沢）						
衛星データが政策決定過程に与える影響の事例研究（青木）						
全体取りまとめ（笠井）						
国際アドバイザリボードの組織・運営（小野田、青木、笠井）				国際アドバイザリボードの組織・運営		国際ワークショップ
Phase-α: 衛星地球観測の立案・評価手法の類型化とモデル化及び社会実装への予備検討（全員）						
各国・機関等の評価手法の方法論とモデル化の提案の提出を依頼、結果を分析検討（小野田）						
「将来的な地球観測レジーム」の構想及び衛星地球観測の位置づけについて検討し、とりまとめる（小野田）						
本研究の結果を、JAXA における検討へのインプットとし、長期的に社会実装へとつなげることを目指す。						
著書の執筆・出版とりまとめ						
まとめ・報告書作成						

2-2. 実施内容

2-2-1. 【実施項目 1：政策における衛星観測の効果分析（手法の検討）】

(1) 先行研究の調査・収集と比較検討

先行研究の調査を行い、評価手法の適用可能性を分析検討した。（詳細別添 1 参照）

これに基づき、評価手法の適用可能性を分析、ウィーン条約及びモントリオール議定書の事例研究を行うための手法的枠組みを決定した。

(2) オゾン層保護の事例の予備検討等

(1)の結果に基づき、初期的な効果分析として、他のグループと共同して以下を実施した。モントリオール議定書採択後の議定書の改正等における衛星データの影響及び気候変動枠組条約（UNFCCC）の経年的な政策進展における衛星データによる影響の分析を実施、また、森林観測への衛星データ利用の事例を検討。さらに、地球観測衛星委員会（CEOS）のデータベースを用い、過去、現在、将来のオゾン観測ミッションのタイムラインを作成し、相澤グループが構築するデータベース解析のための「辞書」づくりに活用し、科学論文や新聞メディアのデータベースを用いて初期的な分析を試行した。

(3) アドバイザリー・ボード設立と「地球観測レジーム・コンプレックス」に関する検討（平成27年度より追加：【実施項目1-α】）

当初計画に加え、発展的段階として以下を追加した（表1における”Phase α”）。先行研究調査の過程で、世界の専門家との意見交換を行った結果、本研究で目指す「イノベーションサイクル」の考え方に高い関心を得、これまで主に欧米で行われてきた衛星地球観測による社会経済便益の分析に加え、遵守論やガバナンス論の考え方に敷衍することにより、将来的な「地球観測レジーム」の可能性を検討することで、政策と科学のサイクルを確立できるのではないかと提案が出た。すなわち、地球観測・予測システムが総合的に政策決定に利用されるには、全てのステークホルダー及びエンドユーザーが関与するプロセスの確立を含め、地球観測分野における適切な制度を整える必要があり、その制度の一環として地球観測による環境監視をとらえるという視点である。

上記提案を検討するため、環境ガバナンス論の第一人者であるカリフォルニア大学サンタ・バーバラ校のオラン・ヤング名誉教授を座長に迎え、有識者による「国際アドバイザリー・ボード」を組織し、ワークショップを27年度後半に開催した。

ワークショップにおいては、米国、欧州、英国、フランス、中国、日本の宇宙機関、研究機関、民間企業及び国際機関（OECD, WHO）から、衛星観測の社会経済的な影響の評価手法に関し紹介があり、提言をまとめ、会議開催後に関係機関ホームページ等より公開した。（後述、3-1.項参照）

ワークショップの成果を土台として、多様な評価手法を類型化し、さらにガバナンス論への本格的な展開を開始することにより、「イノベーションサイクル」の確立に向けた、より具体的なモデル化を伴う提案にまとめる作業を実施。具体的には、笠井PJメンバー及びアドバイザリー・ボード・メンバーに対し、本研究テーマに即したテンプレートに基づいて、各国・機関等の実施した評価手法の方法論とモデル化に結びつくような提案の検討結果を提出するよう依頼し、検討の材料とした。さらに、議論全体を統合する「将来的な地球観測レジーム・コンプレックス」の構想を、カリフォルニア大学ヤング教授、チューリッヒ工科大学ストック教授と共同で検討した。

最終年度には、本研究の成果を中心に、衛星地球観測の政策・社会への影響という観点からの世界の最先端の内容をまとめたうえで、新たに環境政策論（ガバナンス論）の考え方に展開させ、政策と融合した科学技術としての衛星地球観測の立案・評価の手法を類型化し、モデル化したうえで、提案を作成した。

上記内容をシュプリンガー社から著書として出版するため、執筆及び出版作業のとりまとめを実施した。

2-2-2. 【実施項目2：衛星データが政策決定過程に与える影響の事例研究】

ウィーン条約と同条約の締約国会議（COP）、モントリオール議定書と同議定書の締約国会合（MOP）がオゾン層破壊物質を禁止・削減を規定し、追加していく状況の文献調査を行った。また、1970年代初期から現在に至るまでの大気状況観測のために実施された衛星観測を米国 NASA、NOAA、国

連専門機関 WMO、国連の UNEP 等の資料を用いて文献調査し、以下の結論を得た。ウィーン条約とモントリオール議定書の採択に際し、衛星データは決定的な役割を果たした。成層圏でのオゾンの減少により生じる物質 ($O + O_3 \rightarrow 2O_2$) とそのような結合に関与する気体 (OH と HO_2 , NO と NO_2 , ClO と $HClO$) は、衛星データにより特定でき、それが地上観測を補い、シミュレーションを証明した形となったからである。WMO は、1981 年に衛星観測が地理的制約を廃してオゾン層の計測に成功し、世界全体のオゾン量の計測と地域毎のオゾン量の相違についての全体像を把握することを可能にしたと評価している。ウィーン条約付属書 I (研究及び組織的観測) が「人工衛星その他による観測資料の解釈」による理論モデル構築や「人工衛星による観測網」と地上の観測網を統合した観測組織の構築を勧告していることは、衛星データが政策推進に果たした役割の 1 つの現れといえよう。同付属書で観測することが推奨されている気体のうち CO_2 , NO_x , $CHCl_3$, H_2O は特に直接に衛星観測が効果的と証明されていたものである。

ところが、1990 年代以降、モントリオール議定書 MOP での段階的削減・禁止物質の一覧と、衛星データの相関は、文献調査では弱まっていったと判断された。理由として、衛星観測と地上系観測の結果に基づくシミュレーション手法の確立と発達が考えられる。特に対流圏のオゾンの観測については、シミュレーションの有用性、地上系観測との補完関係が顕著である。しかし、2009 年以降再び、状況が変わってきた。それは、オゾン層を破壊しないが高い温室効果を有するハイドロフルオロカーボン (HFC) の生産・消費の段階的削減を実現するためのモントリオール議定書の改正議論が進展していく中で、単にオゾン層の保護だけではなく、同時に温室効果抑制も考慮に入れた観測が必要とされるようになったからである。地球温暖化に密接に関係する成層圏から対流圏へのオゾン輸送の状況と対流圏上部での HFC を直接観測するために新たな衛星設計が望まれる。現在日本の GOSAT に搭載されているセンサーがその目的の一部を果たすが、十分とはいえない。衛星センサーの開発を進めていくことにより、モントリオール議定書の改正を 2010 年代末から 2020 年代初期に果たし、地球温暖化防止の一助とすることが望まれる。本調査のために用いた資料のツリー図を図 4 に示す。

調査のために用いた公開資料

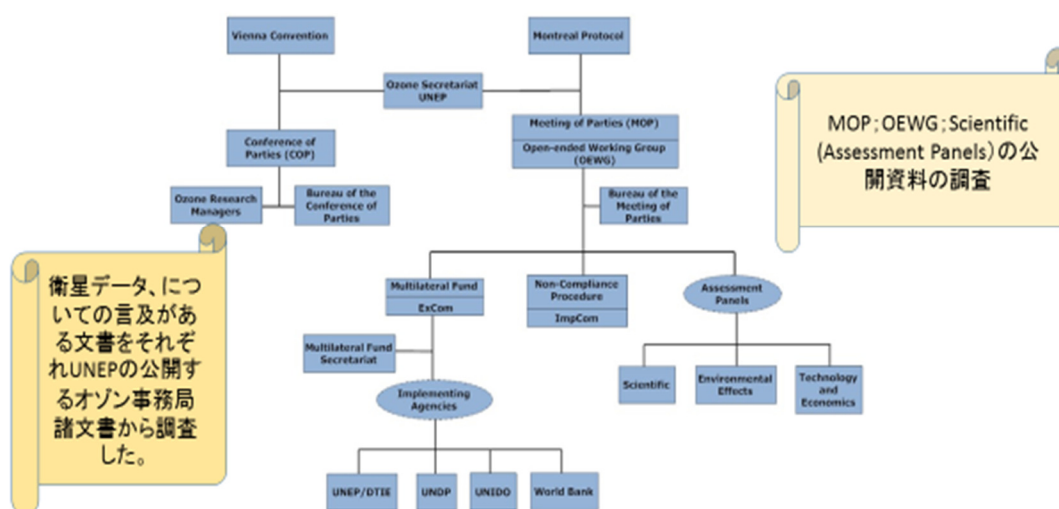


図 4 : 調査のために用いた公開資料

主要参考文献

UNEP のウィーン条約・モントリオール議定書関連文書、COP, MOP 関係文書
<http://conf.montreal-protocol.org/SitePages/Home.aspx>;
特にオゾン研究管理者会議の一連の資料は有用。一例として、
conf.montreal-protocol.org/meeting/orm/9orm/SitePages/Home.aspx;
NASA, <https://www.nasa.gov/ozon>;
NOAA, WMO, ESA 等国際協力により作成された科学評価文書一覧
<http://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/> などの一連の情報
Molina, M and Rowland, F. S., “Stratospheric Sink For Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom-Catalyzed Destruction Of Ozone”, *Nature*, Vol. 249 (28 June 1974);
WMO 1981, WMO, *The Stratosphere 1981: Theory and Practice* (1981);
WMO, *Atmospheric Ozone 1985: Assessment of Our Understanding of the Processes Controlling its Present Distribution and Change* (1985), vols. 1 & 2;
WMO, *Report of the International Ozone Trends Panel 1988* (1988);
WMO/UNEP, *Assessment for Decision-Makers: Scientific Assessment of Ozone Depletion 2014* (2014);
Report of the Ninth Meeting of the Ozone Research Managers of the Parties to Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer (14-16 May 2014)
Fifth to Ninth Report of the Meeting of the Ozone Research Managers of the Parties to Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer. Those are also found as the WMO Reports No. 46, 48, 51, 53 and 54. C. Gebhardt, et al., “Stratospheric Ozone Trends and Variability as Seen by SCIAMACHY from 2002 to 2012”, *Atmospheric Chemistry and Physics* (24 January 2014);
https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_reports.html
<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history.html>
<http://ozone.unep.org/en/handbook-montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer/27599>
モントリオール議定書最新改正議論についての文書 UNEP/OzL. Proceedings

2-2-3. 【実施項目 3 : テキストマイニングを用いた環境政策と衛星観測の関連性の定量化】

環境政策と衛星観測を含めた科学研究との間の相関関係を定量的に示すため、2-2-2 でも述べたように、近年特に MOP 報告書内で議論されているハイドロフルオロカーボン (Hydrofluorocarbon, HFC) という単語をトレーサーとして、MOP 報告書と SAP 報告書のそれぞれで” HFC” という単語の出現数の時間推移を求めた。モントリオール議定書の最大の特徴は、その時々においてオゾン層の状態と対策の現状を考慮しながら、改正と調整を毎年の MOP 会議で議論を繰り返している点である。HFC は代替フロンの一つで、塩素や臭素を含まないため直接的にオゾン層を破壊することはないが、地球温暖化物質の一つとして重要視されている。MOP の中では、2009 年に初めて HFC 削減が提案され、2016 年現在も議論が続いている。図 5 (a) に、MOP 報告書と SAP 報告書のそれぞれの” HFC” という単語の出現数 (N_{HFC}) 推移を示している。なお、単語の時制や複数形等の変換によるカウント数の誤差を無くすため、Stanford Log-Linear Part-Of-Speech Tagger [Toutanova, 2000, 2003] を用いて形態素解析を行い、元の文書から名詞、動詞、形容詞のみを原形で抽出した。MOP 報告書では、1997 年の京都議定書採択に合わせて出現

数が一時的に増加し、2009 年の HFC 削減提案以降は増加傾向を示している。SAP 報告書も同様に、2006 年までは大きな変化はないが、2010 年で大きく増加している。図 2-2-3-1(b)には、この出現数を各年の総出現単語数で規格化した単語出現確率 (P_{HFC}) による MOP 報告書と SAP 報告書間の相関図を示す。MOP 報告書の P_{HFC} の値は、SAP 報告書の発行年に合わせて平均化している。両者の相関係数は 0.75 で、有意な正の相関が確認された。どちらが他方のドライビングフォースとなっているかは断定できないが、この結果は少なくとも両者の関連性を定量的に示している。

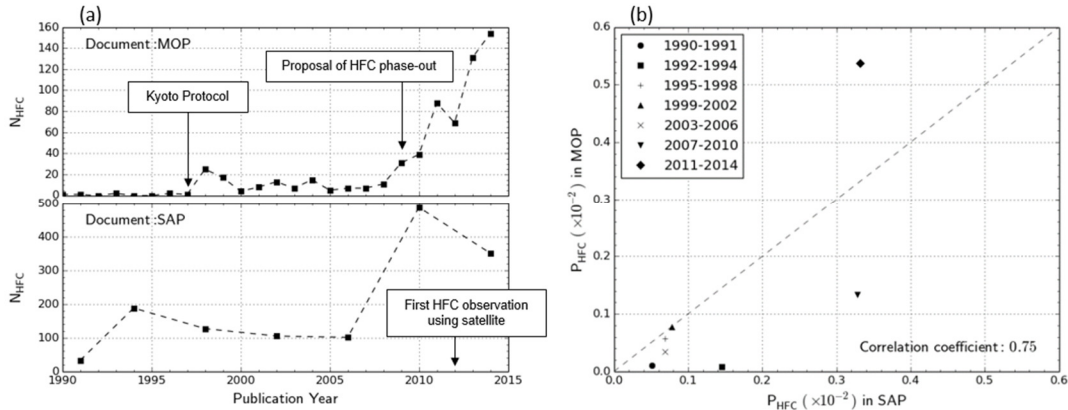


図 5 : (a) MOP 報告書と SAP 報告書内の” HFC” という単語の出現数 (N_{HFC}) 年推移. (b) MOP 報告書と SAP 報告書間での” HFC” という単語の出現確率 (P_{HFC}) 相関図. MOP 報告書内の出現確率は、SAP 報告書の発行年に合わせて平均化している。[Springer 本]

また、環境政策決定における衛星観測の役割を定量的に示すため、MOP 報告書 (1990 年～2014 年) に出現する” satellite” という単語を抽出し、その単語出現数時間推移を求めた (図 2-2-3-2)。その結果、1990 年から 2014 年の MOP 報告書の中で合計 19 回” satellite” という単語が出現したが、その内 13 回は 2008 年の MOP 報告書に集中していた。2008 年の MOP 報告書に注目し、” satellite” という単語を含む文とその前後 1 文を抜き出し、その中に含まれる単語の中で 5 回以上出現する単語を集めた (図 6 白枠内参照)。この中で重要度の高い単語を選別するため、tf-idf という指標を用いた [e.g., Sanderson 2010]。本研究では、以下によって定義される Gamon 等 2005 によって用いられた tf-idf の値を用いた。

$$\text{tf-idf}_{w,d} = \begin{cases} \{1 + \log(\text{tf}_{w,d})\} \times \log\left(\frac{N_{\text{doc}}}{\text{df}_w}\right), & \text{tf}_{w,d} \geq 1 \\ 0, & \text{tf}_{w,d} = 0 \end{cases}$$

ここで、w は単語の、d は文のインデックスをそれぞれ示している。この解析では、d は報告書の年としている。式中の $\text{tf}_{w,d}$ は文書 d に単語 w が出現する回数を示し、 df_w は単語 w が出現する文の数である。この tf-idf の定義では、出現数が多く、かつ出現する文の数が少ない単語で tf-idf の値が大きくなる。例えば” meeting” という単語は、その出現数は大きい (tf の値が大きい) が、どの年の MOP 報告書にも出現する (idf の値が小さい) ため、tf-idf の値は小さくなる。td-idf の値が大きく、MOP の中で重要度の高いとされる単語と、それぞれの tf-idf の値は、” satellite” (5.738)、” orm” (5.515)、” gap” (2.424)、” seventh” (1.846)、” observation” (1.783) であった。この中の” orm” は、オゾン研究管理者 (Ozone Research Managers, ORM) を示している。ORM の会議では、国ごとにオゾン層破壊問題に対する具体的な取り組みや成果が発表される。2008 年の第 7 回 ORM 会議の報告書では、特に NASA の Aura 衛星に搭載されているいくつかの測器の寿命が近づいており、それによって、Nimbus や UARS 衛星によって 1970 年代から続けられてきた成層圏オゾンの長期的モニタリングが途絶える (つまり長期モニタリングに” gap” が生まれてしまう) 可能性について記載されている。このことが 2008 年の MOP でも議論されている。以上よ

り、衛星観測はオゾンの長期モニタリングという点で、政策決定において重要な役割を担っていると考えられる。

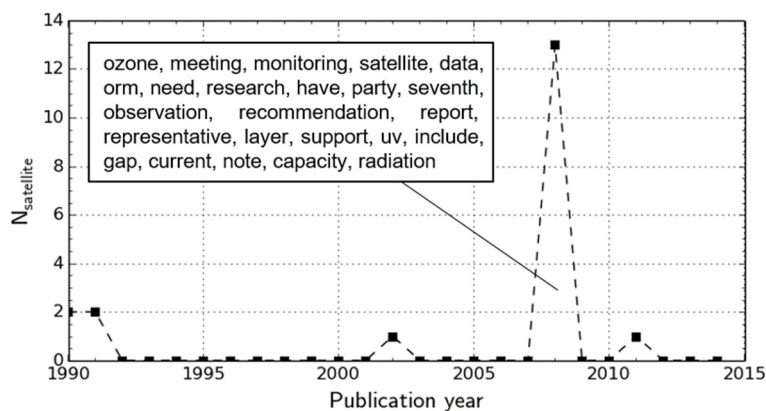


図6：MOP 報告書に出現する” satellite” という単語の出現数推移（1990年～2014年）. 図中の白枠内には、2008年 MOP 報告書の中の” satellite” という単語を含む文とその前後1文の中に合計5回以上出現する単語を列挙している。[Springer 本]

また、本研究で使用した環境政策文書（MOP や ORM 報告書等）および科学研究文書（SAP 報告書等）は Drupal というオープンソースソフトウェア[参考 WEB 「Drupal Japan」<http://drupal.jp/> 2016/11/09 アクセス]に格納し、オゾン層破壊問題に関する政策と科学の双方向の文書を同時に閲覧、検索、ダウンロードが可能なデータベースを作成した（図7）。

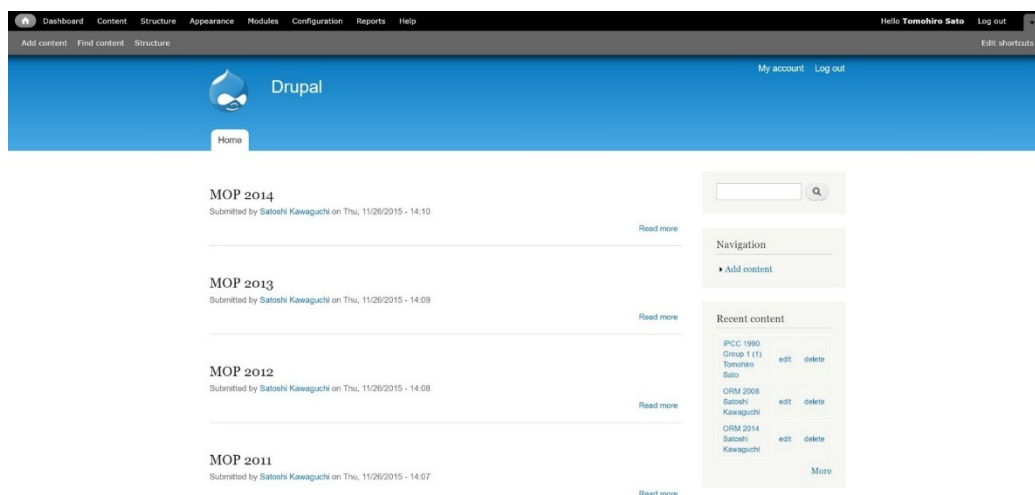


図7：Drupal を用いたオゾン層破壊問題に関する環境政策文書および科学研究文書のデータベースの画面例

本実施内容では、環境政策における衛星観測の役割の解明を、テキストマイニングという定量的手法によってアプローチした。モントリオール議定書をケーススタディとして、オゾンの長期モニタリングという点で衛星観測は環境政策決定の場で重要であることを定量的に見出した。このテキストマイニングによる手法は、報告書というテキストデータを対象とするため、オゾン層破壊問題以外の地球温暖化問題や大気汚染問題といった環境問題だけでなく、経済や産業などの他の分野にも応用可能である。

参考文献

- Gamon, M., Aue, A., Corston-Oliver, S., & Ringger, E. (2005). Pulse: Mining customer opinions from free text. *Proceedings of the international symposium on intelligent data analysis*, 121-132
- Sanderson, M., Manning, C. D., Raghavan, P., Schütze, H. (2010). Introduction to Information Retrieval, Cambridge University Press. 2008. ISBN-13 978-0-521-86571-5, xxi+ 482 pages. *Natural Language Engineering*, 2010, 16.01: 100-103.
- Toutanova, K., & Manning, C. D. (2000). Enriching the knowledge sources used in a Maximum Entropy Part-Of-Speech Tagger. *Proceedings of the Joint SIGDAT Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Very Large Corpora (EMNLP/VLC-2000)*, 63-70.
- Toutanova, K., Klein, D., Manning, C. D., & Singer, Y. (2003). Feature-Rich Part-of-Speech Tagging with a Cyclic Dependency Network. *Proceedings of HLT-NAACL 2003*, 252-259.

3. 研究開発成果

3-1. 成果の概要

(1) 【環境政策への衛星観測の効果分析手法の調査検討と評価】

衛星観測の政策・社会への影響に関する評価手法の先行研究調査を行い、評価手法の適用可能性を検討し、文書データ解析による衛星観測の効果の定量的な評価手法を決定した。

(2) 【データマイニングによる定量的評価手法の開発】

オゾン層の保護に関する事例研究を行い、オゾンの長期モニタリングという点で衛星観測は環境政策決定の場で重要であることを定量的に見出した。

(3) 【政策と科学のイノベーションサイクルを確立するための提案】

現在実施されている評価手法の最先端の内容をまとめ、類型化したうえで、新たにガバナンス論の考え方に展開させ、政策と融合した科学としての衛星地球観測の立案・評価の手法をモデル化・提案した。さらに、「地球観測レジーム・コンプレックス」の可能性を示唆しつつ、「地球観測環境データフォーラム」の提案をまとめた。

3-2. 各成果の詳細

3-2-1. 環境政策への衛星観測の効果分析手法の調査検討と評価

(1) 別添1に示す先行研究調査を行い、様々な既存の評価手法を分析した結果以下のとおり。

- 米国政府の地球観測衛星ミッションは、Decadal Survey という委員会調査を行うことにより、科学的な要件・要求に基づいて設計されている。
- 欧州のコペルニクス計画では、実利用エンドユーザの要求に基づいて設計。事前にステークホルダーを巻き込んだ大掛かりな社会経済便益分析を実施。
- 政策文書において、明示的に衛星が参照されている例を確認することは困難と判明。
- 先行事例では、衛星地球観測が具体的な政策にいかに関与を及ぼすかというよりも、それがもたらす社会経済的な便益に焦点を当てる傾向があった。
- Macauley (2009) の方法論が、今先行研究調査において確認できた類似手法による検討の唯一の例。(査読論文からキーワード検索により、Landsat 衛星利用の傾向を抽出する手法)

これにより、文書解析データを用いて定量的に衛星データの影響を見るという手法は、部

分的には可能であるが、以下の制約があることが明らかになった。

- 解析の対象となりうる関連文書のサンプル数が豊富ではない
- 衛星データと科学との相関を分析することは可能であったとしても、科学と政策との関係を分析するのは、関係する要因が多いうえ定量化の難しい相当に複雑な作業である。

よって、平成 26 年度末に、本研究で用いる分析手法について以下とすることを決定。以下の①を主として②及び③を補助的に試行することとした。①政策文書データベース（データマイニング）を用いた分析、②データ利用量の観点からの調査・分析、③科学論文及び新聞等データベースを用いた分析。以下①に関する成果について述べる。（②、③は論文等にて発表）

3-2-2. データマイニングによる定量的評価手法の開発

本研究で収集したオゾン層破壊問題に関する環境政策文書と科学研究文書を一つのデータベースに格納した。本研究では全く異なる分野のテキストデータの解析が主軸であったが、このデータベース一つに文書を共有することで、スムーズな連携が可能となった。

1974 年のクロロフルオロカーボン（CFC）がオゾン層を破壊し生態系に変動をもたらすという科学的知見の発表と、続く、1978 年 11 月以降のオゾン層観測に適した TOMS センサーの利用開始が国連 UNEP での議論の活性化やオゾン層破壊物質を含む米国のフロンガスの使用禁止法米国法制定につながる経過が見て取れた。また、モントリオール議定書採択以降の制度構築にも衛星画像の利用が有益である点は定性的には認められる。この衛星画像がモントリオール議定書政策決定の過程でどのように貢献したかといった記述は平成 26 年度時点においては存在しなかったが、2014 年 5 月に開催されたオゾン研究管理者（Ozone Research Managers, ORM）の報告書がオゾン層保護のための地上観測と宇宙からの観測（space-based measurements of ozone）がオゾン層の回復のために有用な道具として成功しつつあると断言している。

制度論として政策をとらえた場合、これを合意（条約）形成、実施・遵守、有効性検証のフェーズに分けた時にそれぞれのフェーズにおける衛星データの役割を明確化し、関連文書を抽出し、相関を分析することは可能である。衛星データが既に利用されている特定のケース（森林観測等）において、データ量の観点から、政策的な目的でどれほど利用されているかという定量化は可能である。ある特定衛星機器、又は観測が、査読科学論文にどれだけ出現するか、あるいは新聞等マスメディアにどれだけ出現するかという観点で分析することは可能である。

これらを踏まえ、その政策決定における重要性が確認された ORM 報告書を政策の代表文書とし、国連環境計画（UNEP）のオゾン事務局に置かれた Scientific Assessment Panel（SAP）の報告書を衛星観測を含めた科学研究の代表文書とし、それぞれのテキストをビッグデータとして捉え、テキストマイニングの技術、特に引用文献を指標とする Citation Analysis を使って両者の関連性の定量化を試みた。なお、ORM 報告書は実施・遵守のトレーサーに相当するものである。両者の引用文献を比較した結果、ORM 報告書に引用されていた文献の内の 30%が SAP 報告書でも引用されており、政策と衛星観測等の科学研究との間への関係性を数字で示した。

さらに、近年特に MOP 報告書内で議論されているハイドロフルオロカーボン（Hydrofluorocarbon, HFC）という単語に注目した。HFC は代替フロンの一つで、塩素や臭素を含まないため直接的にオゾン層を破壊することはないが、地球温暖化物質の一つとして重要視されているもので、カナダ ACE 衛星観測によりグローバルな実態把握がなされている。2009 年に MOP の中で初めて HFC 削減が提案され、2016 年にはモントリオール議定書の改訂がなされたものである。MOP 報告書と SAP 報告書のそれぞれで”HFC”という単語の出現数の時間推移を求めた。単語の時制や複数形等の変換によるカウント数の誤差を無くすため、Stanford Log-Linear

Part-Of-Speech Tagger [Toutanova, 2000, 2003]を用いて形態素解析を行い、元の文書から名詞、動詞、形容詞のみを原形で抽出した。MOP 報告書では、1997 年の京都議定書採択に合わせて出現数が一時的に増加し、2009 年の HFC 削減提案以降は増加傾向を示した。SAP 報告書も同様に、2006 年までは大きな変化はないが、2010 年で大きく増加した。この出現数を各年の総出現単語数で規格化した単語出現確率 (P_{HFC}) による MOP 報告書と SAP 報告書間の相関を取ったところ、両者の相関係数は 0.75 で、有意な正の相関が確認された。この結果は両者の関連性を定量的に示している。

本研究では政策としての成功が認められているモントリオール議定書に対し、これまで困難とされていた衛星による大気観測の政策への定量的な寄与の見積もり方に対して先鞭をつけた。

3-2-3. 政策と科学のイノベーションサイクルを確立するための提案

平成 27 年 11 月に本研究の一環で開催した、国際アドバイザー・ボード・ワークショップの結果を以下の提言として公開した。本提言は総務省における副大臣の懇談会「宇宙 xICT」開催（平成 28 年 1 月～平成 29 年 7 月まで開催予定）におけるトリガーの一つとなった。まさに、政策の場に反映された実績である。

国際アドバイザー・ボード・ワークショップ
「社会と政策に対する衛星地球観測の効果の評価」
開催結果（和訳抜粋）（全文：別添 2 参照）

1. 地球観測は、世界に対する独自の視点と展望を与えることにより、今後、地球という惑星の人口がより多くなり、より豊かに、より密接につながってゆく中で、自然・社会資源の持続可能な管理のための政策に貢献することにより、全人類の利益に資する。
2. 地球観測は、必要不可欠な社会基盤として認識されるべきである。オープンな地球観測は、プライオリティの高い様々な環境・社会問題に対して、有益で費用対効果の高い貢献を行っているという重要なエビデンスがある。
3. 地球観測・予測システムが総合的に政策決定のために利用されるには、全てのステークホルダー及びエンドユーザが関与するプロセスの確立を含め、地球観測分野における適切な制度を整える必要がある。
4. 日本は、国際パートナーと共に、次世代の宇宙計画において生じうるミッションの欠如を明らかに、解決することによって、地球観測の長期的な継続性から得られる社会的便益を最大限に実現することを確保すべきである。
5. データ技術及びアプリケーションの急速な発展に伴い、非政府団体による衛星打上げ、小型衛星の評価の高まり、ドローンやクラウド・ソーシング、市民科学の高まり等、地球観測においてパラダイムの変化が起きている。

この結果をベースとして、引き続きアドバイザー・ボード・メンバーより貢献を得て、世界の評価手法の最先端の内容をまとめ、類型化した。その結果、米国、欧州、フランス、英国、OECD、地球観測に関する政府間会合（GEO）、中国、日本ほか専門家のインプットに共通する内容は以下

のとおり。

- 地球システムに対する人間の行動の及ぼす影響の増大
- 自然科学と社会科学の統合の取り組みの必要性
- 宇宙からの地球観測によって、地球システムと人間行動、自然と社会の両分野の相互作用を把握し、意思決定を科学的エビデンスでサポートするための独自の視点が得られる
- 地球観測システムへの投資効果（ROI）を示すことの必要性
- 社会便益の最大化のためのオープンデータアクセスの必要性
- 一方で、地球観測の社会経済的便益を定量的に評価することは簡単でないこと
- 問題とする特定の文脈において、適切な分析手法を選定することの重要性
- 革新的技術の開発により、行動可能な知識を抽出する好機であるとともに、広範な情報と混合して利用されるため便益評価がより難しくなることが課題

また、類型化の結果、世界で現在実施されている評価手法は、大きく以下のとおり。

- ①文献ベースの分析
- ②費用対効果分析を含む経済的手法
- ③より広範な政策的・社会的影響の定性的な評価等

さらに、新たに国際環境政策論（ガバナンス論）の考え方に展開し、国際約束における様々な役割（進捗に関する情報提供、予防又は低減の支援、遵守の向上）に対応して衛星観測が効果をあげているかを評価するツールとして、上記の様々な評価手法が利用できることを示した。本研究において実施した手法（オゾン層の事例を用いた文書解析）は、部分的にこれを試みたものであり、今後、さらに進化させた形で分析評価を行うことができると提案。

そして、将来への展望として、「地球観測レジーム・コンプレックス」の概念を紹介した。ここで、「レジーム・コンプレックス」とは、重複レジームとも訳され、近年の国際政治の学説において、グローバル・ガバナンスの発展とともに、構成員や意思決定が別箇だが同じ活動やその同じ側面に関する制度（レジーム）が相互に作用し、重複し、補完し、あるいは干渉し合う相互作用をさす。衛星地球観測のようなコスト・インテンシブで戦略的にデリケートな活動について、制度的コンプレックスの在り方は非常に関係性が深いと考えられる。宇宙ミッションの設計段階から始まる end-to-end の連携を確立し、次のミッションにつなげていくことが重要であるとの考え方から、衛星データプロバイダ及びユーザの双方のコミュニティの間でより高いレベルのシナジーを達成することにより、環境レジームのパフォーマンスを向上し、宇宙機関への支持を強化させる余地があると考えられる。これが実現されれば、科学から政策への「イノベーションサイクル」を完成できることを示した。

特定の環境問題解決のためのレジーム自体が衛星を持つことは、実際的にも効率的でもない場合が殆どである。このため、異なる用途でデータを必要とするユーザとの間でデータ取得とマネジメントを可能とするようなプロバイダを含む制度的コンプレックスが生じることが期待される。

そのため、ステークホルダーのマッチメイキングを行う具体的な一歩として、「地球観測環境データフォーラム」の設立を提案した。地球観測環境データフォーラムとは、衛星が政策に果たす機能（情報・支援・遵守）ごとに焦点を置いて地球観測プロバイダの能力とマッチメイキングするような場であり、既に存在する取り決めや制度にとって代わるものではなく、新しい技術や環境レジームの発展を議論し、地球観測の新しい利用を話し合う場である。GEF や世銀などの資金提供団体の参加も適切と考えられる。

したがって、本研究の当初問題設定（死の谷を越え、「政策のための衛星観測イノベーションサイクルが回る」社会を作ること）への答えとしては、図8のように、ステークホルダーの対話、事前の投資効果評価、地球観測ミッション設計、地球観測プログラムの開発・運用、社会経済便益、事後の評価を経て次のステークホルダー対話と新技術開発に移るという「政策と社会のための地球観測のモデル」（＝当初提案の「イノベーションサイクル」に対応）を提案する。

A model for Earth observation for society and policy

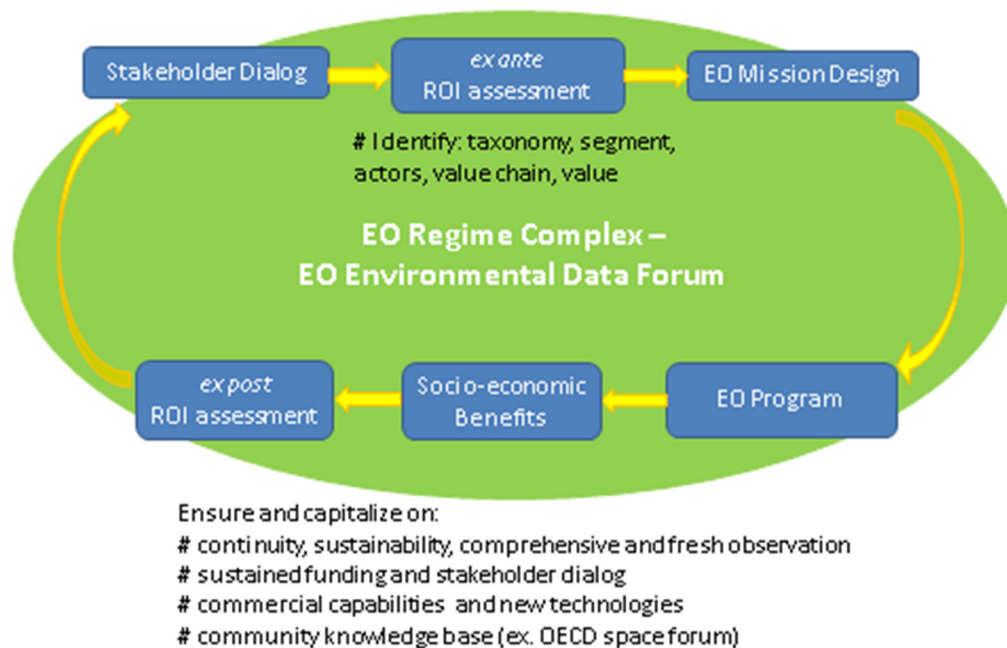


図8：「政策と社会のための地球観測のモデル」

GEO や、フューチャーアースといった既存のアクターや制度は、このコンプレックスに包含されるものとしてとらえることが可能であり、図8のようなサイクルに寄与すると考えることができる。また、2018年には、GEO 本会合が10年以上ぶりに京都国際会館で開催される。GEOの次の一歩として、日本政府（MEXT）がイニシアチブを取って上述のような構想を提案し、「地球観測環境データ・フォーラム」設立を牽引することを、本プロジェクトとして提案したい。

（「地球観測レジーム・コンプレックス」及び「地球観測環境データフォーラム」の概念については詳細別添3参照。また、本項の成果をまとめた著書を別添4とする。）

また、波及的な成果としては以下があげられる。

- 本検討内容を受け、JAXAにおいて、同年12月より地球観測オープンデータの経済効果についての内部勉強会を実施、各種方法論を検討した結果、平成28年度よりJAXA第一宇宙技術部門の事業目標に位置付け、地球観測衛星の社会経済便益に関する検討を開始することとなった。
 - また、内閣府 科学技術イノベーション総合戦略2015のうち「地球環境プラットフォーム」の会議参考資料としてとりあげられ、実際に政策立案執行に役に立った。
- また、本研究によって得られた知見をもとに、総務省情報通信国際戦略局において副大臣主

催の「宇宙 x ICT に関する懇談会」の設置を実現した。

3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等

3-3-1. 地球観測分野へのガバナンス論の適用

宇宙開発プログラムや、衛星プログラムの社会経済的便益については、経済的な手法や、その他の様々な定性的な検討はなされてきたものの、国際政治（ガバナンス論）の観点からこれをとらえた検討は、世界でも初めてである。

3-3-2. 国際的なアウトリーチ及び知識共有

世界から各分野の第一人者の参加を得、ワークショップのみならず前後のテレコンやメールを通じた共同作業をプロジェクト後半の1年半にわたって実施、相乗効果による研究成果をあげ、当該分野の国際コミュニティの発展拡大に寄与した。国際的なチームによる学際的・分野横断的に行った例はこれまでなく、同分野の最新研究の発信を目的とした著作出版も、世界で初めてである。

3-4. 成果の発展の可能性

本研究においては、テーマ名のとおり「評価手法の検討」を目的としており、ツールボックスとしてこれまで実施されている様々な手法を示したうえで、特定の政策レジーム（オゾン層の保護）について特定の手法（文書解析）を試みたものである。この成果にもとづき、今後他の政策分野（気候変動・温暖化・汚染・災害等）において、適切な手法を選択してさらに進化した分析評価を行い、実際の衛星計画・利用計画に反映させることが可能である。

また、上記 3-2-2 にも提案しているように、「政策と社会のための地球観測のモデル」（図）のようなプロセスを経て地球観測ミッションを立案・運用・利用していく必要性を、内閣府・経済産業省・文部科学省・総務省・国土交通省・農林水産省等の宇宙政策決定機関はじめ、NICT, JAXA, IGES, NIES 等の研究開発機関及び一般国民に判断材料として提示し、長期的に社会実装へとつなげることを目指したい。

さらに、GEO やフューチャーアースといった国際コミュニティと協働して、「地球観測環境データフォーラム」構想の立ち上げを 2018 年の GEO 京都本会合を機会に実現すべく、内外から働きかけていきたい。

なお、本研究を国際的に進めたことから成果の発信が英語中心であったため、特に著書の和訳に関してはタイミングを逸しないうちに実施したく、資金面・アウトリーチ面等のサポートを望む次第である。

4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動

4-1. 研究開発の一環として実施した会合・ワークショップ等

名称	年月日	場所	規模 (参加人数等)	概要
第 30 回 ΦOIC 会議	2016/11/07	慶応大学三田キャンパス	6	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論および報告書まとめ

				の議論
第 29 回 ΦOIC 会議	2016/07/06	法政大学市ヶ谷キャンパス	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
第 28 回 ΦOIC 会議	2016/06/16	法政大学市ヶ谷キャンパス	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
第 27 回 ΦOIC 会議	2016/05/19	未記録	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
第 26 回 ΦOIC 会議	2016 年 4 月 27 日	法政大学市ヶ谷キャンパス	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
第 25 回 ΦOIC 会議	2016 年 3 月 10 日	NICT 麹町会議室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
第 24 回 ΦOIC 会議	2016 年 2 月 29 日	法政大学市ヶ谷キャンパスポアソナードタワー 8 階 806 教室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
第 23 回 ΦOIC 会議	2016 年 1 月 25 日	慶應大学三田キャンパス 南館 4 階 ミーティングルーム	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
第 22 回 ΦOIC 会議	2015 年 10 月 29 日	法政大学市ヶ谷キャンパスポアソナードタワー 10 階 1002 教室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
「社会と政策に対する衛星地球観測の効果の評価」	2015/11/9-10	一橋講堂会議室	30	衛星地球観測の社会経済的影響に関する研究分野の現状及びPJへの助言について議論した。
第 20 回 ΦOIC 会議	2015 年 10 月 29 日	法政大学市ヶ谷キャンパスポアソナードタワー 5 階 506 教室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
第 19 回 ΦOIC 会議	2015 年 8 月 21 日	JAXA 東京事務所（御茶ノ水）地下 1 階 B102 会議室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論
第 18 回 ΦOIC 会議	2015 年 7 月 13 日	総務省 11 階 1101 会議室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究（評価）の進め方議論

第17回 ΦOIC 会議	2015年5月15日	法政大学市ヶ谷キャンパスボアソナータワー6階8601教室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第16回 ΦOIC 会議	2015年4月8日	未記録	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第15回 ΦOIC 会議	2015年3月6日	法政大学 9F 901室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第14回 ΦOIC 会議	2015年1月19日	国立情報学研究所(一ツ橋)12F1210室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第13回 ΦOIC 会議	2014年12月25日	法政大学市ヶ谷キャンパスボアソナータワー7階702教室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第12回 ΦOIC 会議	2014年12月2日	国立情報学研究所15階セミナー室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第11回 ΦOIC 会議	2014年10月30日	法政大学市ヶ谷キャンパスボアソナータワー6階0601教室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第10回 ΦOIC 会議	2014年9月16日	総務省	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第9回 ΦOIC 会議	2014年7月28日	国立情報学研究所15階セミナー室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第8回 ΦOIC 会議	2014年6月19日	国立情報学研究所15階セミナー室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第7回 ΦOIC 会議	2014年5月9日	総務省10階会議室	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
第6回 ΦOIC 会議	2014年4月10日	JAXA 東京事務所	5	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論

4-2. アウトリーチ活動

4-2-1. 主催したイベント（シンポジウム等、外部向けに主催したもの）

「環境政策に対する衛星観測の効果の定量的・客観的評価手法の検討」フィージビリティ検討報告会（2014年8月29日、慶應義塾大学三田キャンパス）を公開で開催。

国際セミナー「社会と政策のための革新的な地球観測」（2015年11月9日、於：一橋講堂会議室、約100名参加）を公開で開催。科学と政策及び衛星地球観測の社会経済的便益に関する専門家を世界の学会・宇宙機関・国際機関・産業界から招き、環境政策や社会経済に対する衛星観測の効果について客観的な評価を行う可能性を議論した。次世代の観測技術への技術革新にフィードバックし、グローバルな要求に貢献する将来ミッション又はモデルに関する提言を行った。（別添2）

4-2-2. 書籍、DVDなど発行物（論文以外のもの）

Onoda, Masami, Oran Young Eds. in collaboration with Yasuko Kasai, “Satellite Earth Observations and Their Impact on Society and Policy”, Springer, 2017 (in printing).

4-2-3. ウェブサイト構築

Assessing the Impact of Satellite EO on Society and Policy

<http://www.symbioscomms.com/peoic/>（2015年10月立ち上げ）

社会と政策のための革新的な地球観測

<http://www.pco-prime.com/peoic2015/>（2015年10月立ち上げ）

<http://www.iges.or.jp/jp/natural-resource/20151109.html>（2015年10月立ち上げ）

http://space-law.keio.ac.jp/information/post_39.html（2015年11月立ち上げ）

国際ワークショップ「社会と政策に対する衛星地球観測の効果の評価」を開催

http://www.iges.or.jp/jp/natural-resource/20151109_2.html（2015年11月立ち上げ）

<https://www.nict.go.jp/info/topics/2015/12/151207-1.html>（2015年11月立ち上げ）

http://www.jaxa.jp/projects/int/topics_j.html（2015年11月立ち上げ）

4-2-4. 招聘講演（学会以外のシンポジウム等での講演が対象）

発表者名（所属機関名）「発表タイトル」シンポジウム等名称、場所、年月日
特になし

4-2-5. その他（ネットメディアを使用した情報発信、学術誌以外の雑誌等への投稿など）

小野田勝美（2015年）「地球観測データポリシー」『地球観測衛星委員会 地球観測衛星データ利用事例集～行動判断のための地球観測～ 2015版』（日本語版サマリ）p.9

http://www.sapc.jaxa.jp/work/international/PDF/CEOS_20151013_fix_jp.pdf

Masami Onoda, “Earth Observation Data Policy” in *Applications of Satellite Earth Observations: Serving Society, Science, & Industry [Full Report] 2015 edition*, pp.6-7.
Available at:

http://ceos.org/document_management/Publications/Data_Applications_Report/DAR_All-Chapters-Final_27Oct2015.pdf

4-3. 新聞報道・投稿、受賞等

4-3-1. 新聞報道等 (テレビ、ラジオ等の取材・出演なども含む)
朝日新聞・夕刊 (2016年1月29日)「達成感の記憶 いま科学の最先端に」
<http://www.asahi.com/articles/photo/AS20160125002834.html>

4-3-2. 受賞
特になし

4-3-3. その他
特になし

5. 論文、特許等

5-1. 論文発表

5-1-1. 査読付き (3 件)

L. Millan, S. Wang, N. Livesey, D. Kinnison, H. Sagawa, and Y. Kasai, "Stratospheric and Mesospheric H₂O Observations from the Aura Microwave Limb Sounder", *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 2889-2902, 2015, DOI: 10.5194/acp-15-2889-2015 (2015)

Jonathan H. Jiang, Hui Su, Chengxing Zhai, T. Janice Shen, Tongwen Wu, Jie Zhang, Jason N. S. Cole, Knut von Salzen, Leo J. Donner, Charles Seman, Anthony Del Genio, Larissa S. Nazarenko, Jean-Louis Dufresne, Masahiro Watanabe, Cyril Morcrette, Tsuyoshi Koshiro, Hideaki Kawai, Andrew Gettelman, Luis Millán, William G. Read, Nathaniel J. Livesey, Yasko Kasai, and Masato Shiotani, "Evaluating the diurnal cycle of upper tropospheric ice clouds in climate models using SMILES observations", *Journal of Atmospheric Sciences.*, Vol. 72, 1022-1044, 2015, DOI: 10.1175/JAS-D-14-0124.1 (2015)

Setsuko Aoki, "II. Practical Background for the 2013 National Legislation Resolution", in Hobe・Schmidt-Tedd・Schrogl (eds.), *Cologne Commentary on Space Law*, vol. III (Carl Heymanns Verlag, 2015), pp.503-535.

5-1-2. 査読なし (0 件)

5-2. 学会発表

5-2-1. 招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

5-2-2. 口頭発表 (国内会議 2 件、国際会議 8 件)

Onoda, Masami, Yasuko Kasai et. al., "A Study on Methods for Assessing the Impact of Satellite Observations on Environmental Policy", presented at the 5th International Astronautical Congress, Toronto, Canada;

Johnson, Brian, M. Onoda and H. Scheyvens, "Recent trend in the use of remote sensing to

address environmental issues” 第57回 日本リモートセンシング学会学術講演会 (2014年11月、京都) ;

Johnson, Brian, H. Scheyvens, H. Samejima and M. Onoda, “Characteristics of the remote sensing data used in the proposed UNFCCC REDD+ Forest Reference Emission Levels (FRELs)” to be presented at the XXIII ISPRS Congress in Prague, Czech Republic, 2016;

Setsuko Aoki, “Analysis of the Legal Instruments Operating the ISS as the Most Complex Space Program Ever Undertaken: from historical perspective” , *Proceedings of the International Institute of Space Law 2014* (Eleven, 2015), pp. 309-322;

Tomohiro Sato, Hideo Sagawa, Naohiro Yoshida, Yasuko Kasai, “Oxygen isotopic enrichment in the middle atmospheric ozone observed by SMILES” , Limb workshop, Gothenburg, Sweden, 9 2015.

有村 健斗, 落合 啓, 笠井 康子, 菊池 健一, 北 和之, ” 衛星による火星表面サブミリ波偏波観測の模擬実験” , 日本地球惑星科学連合大会, 千葉, 5月 (2015)

柴原 卓弥, 真鍋 武嗣, 西堀 俊幸, 碓井 英雄, 落合 啓, 笠井 康子, ” Effects of Surface Error of a Submillimeter-Wave Offset Cassegrain Antenna for JUICE/SWI” , 36th esa antenna workshop, Amsterdam, Nederland, 10月 (2015)

山田 崇貴, 笠井 康子, 足立 透, Alfred Chen, Rue-Ron Hsu, Han-Tzong Su, 栗林 康太, 高橋 幸弘, 佐藤 光輝, 吉田 尚弘, ” Survey of sprite events with SMILES atmospheric composition observations” , 8th International Atmospheric Limb Workshop, Gothenburg, Sweden, 9月 (2015)

笠井 康子, 栗林 康太, 鈴木 尚, 山田 崇貴, 平川 貴士, 佐藤 知紘, ” What we learned from SMILES observation of atmospheric compositions in middle atmosphere” , 8th International Atmospheric Limb Workshop, Gothenburg, Sweden, 9月 (2015)

笠井 康子, 栗林 康太, 佐川 英夫, 佐藤 知紘, 山田 崇貴, ” Chemistry of Atmospheric Compositions in MLT Region Observed by SMILES” , Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 12th Annual Meeting, Singapore, 8月 (2015)

笠井 康子, 栗林 康太, Nao Suzuki, 山田 崇貴, 佐藤 知紘, ” Atmospheric radical observations using a submillimetre-wave spectrometer, SMILES, from International Space Station” , 日本分光学会年次講演会, 東京, 6月 (2015)

5-2-3. ポスター発表 (国内会議 1 件、国際会議 3 件)

Onoda, Masami, Yusuke Muraki et. al., “Policy and Earth Observation Innovation Cycle (PEOIC) project”, presented at GEOValue 2016 Data to Decisions: Valuing the Societal Benefit of Geospatial Information, 10-11 March 2016, in Paris, France.

平川 貴士, 栗林 康太, 山田 崇貴, 笠井 康子, ” Stratospheric acetonitrile (CH₃CN) observed by SMILES” , 8th International Atmospheric Limb Workshop, Gothenburg, Sweden, 9月 (2015)

藤縄 環, Esmaeili Mahani Mona, 吉田 尚弘, 笠井 康子, ” Japanese future mission for air quality uvSCOPE and APOLLO” , 8th International Atmospheric Limb Workshop, Gothenburg,

Sweden, 9月(2015)

佐藤知紘, 吉田尚弘, 笠井康子, "SMILESによる中層大気中オゾン同位体比の日変化観測(ポスター)", 大気化学討論会, 東京, 10, 2015.

5-3. 特許出願

5-3-1. 国内出願 (0 件)

5-3-2. 海外出願 (0 件)

6. 研究開発実施体制

6-1. 体制

図9：研究開発実施体制



6-2. 研究開発実施者

末尾に掲載

6-3. 研究開発の協力者・関与者

末尾に掲載

添付資料

別添 1 : 先行研究調査リスト (Literature log)

別添 2 : 国際アドバイザリ・ボード・ワークショップ「社会と政策に対する衛星地球観測の効果の評価」(2015年11月9日(月)~10日(火)、於東京)開催結果(和訳)

別添 3 : 「地球観測システムと国際環境レジームの統合」(和文骨子)

別添 4 : 著書全文 "Satellite Earth Observation and Their Impact on Society and Policy" (印刷中公表前につき未定稿)