



Science & Technology Trends

科学技術動向

1-2
2014
No.142

レポート・トピックス タイトルをクリックすると 各項目にジャンプします

レポート

- p 4

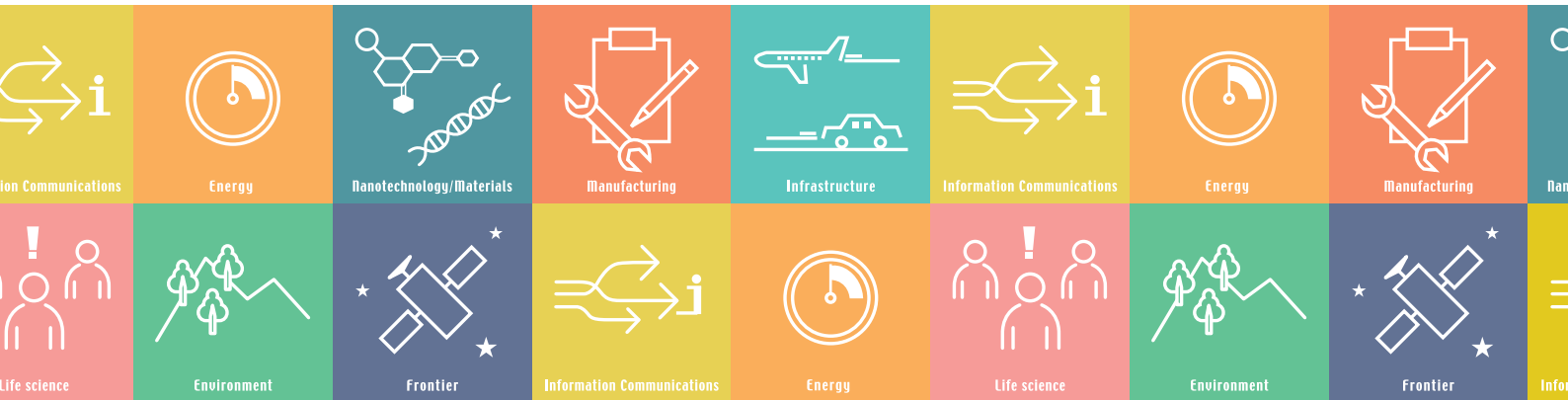
日本の魅力の発信強化に向けた
研究開発テーマの抽出
—第9回デルファイ調査結果より—
- p13

農業をめぐるIT化の動き
—データ収集、処理、クラウドサービスの適用事例を中心に—
- p19

技術文書に見る
インターネット要素技術の動向
- p25

新しい局面を迎えたオープンアクセスと
日本のオープンアクセス義務化に向けて
- p32

2013年の世界の宇宙開発動向



本文は p.4 へ

日本の魅力の発信強化に向けた 研究開発テーマの抽出 —第9回デルファイ調査結果より—

東京オリンピック開催決定を機に、2020年に向けて目指すべき姿を早期実現させるための研究開発やシステム改革の議論が活発化している。オリンピックを契機とした日本への注目を好機と捉え、日本の魅力の発信を強化するとともに、その後の発展に繋げていくことが求められている。

そこで、科学技術動向研究センターは、第9回科学技術予測調査(2010年)を基に、社会実装に向けて取り組みを加速させるべきと考えられる研究開発テーマの抽出を試みた。2020年頃までに技術的な目処が立つと予測された課題(トピック)を抽出し、①高度リスク管理・低減技術、②高精度な観測・予測システム、③どこでも電力・情報インフラ、④マルチスケールエネルギーマネジメント、⑤エネルギー・資源の超高効率利用、⑥ゼロエミッション、⑦知的なセンシングによるインフラマネジメント、⑧交通モダリティの革新、⑨インクルーシブ社会の実現、⑩サービス科学によるおもてなし、⑪食と健康、⑫ライフサイエンスの最先端、⑬デジタルファブリケーション、⑭サイエンスによる日本文化・ものづくり伝承、の14テーマに分類した。

本文は p.13 へ

農業をめぐる IT 化の動き —データ収集、処理、クラウドサービスの適用事例を中心に—

農林水産省の調査によると、約50%の営農者がこれまでの農業経営において情報通信技術(IT)を利用しており、かつ今後も利用したいと答えている。ただし、その多くが比較的簡易な利用に留まっており、農業生産の飛躍的な向上が期待されるようなITの利用はわずかとなっている。

農産物の生産量や品質は気温、日射量、土壌水分、施肥量などの影響を大きく受ける。適切な生産管理により収益を向上させるためには、これら環境データと実際に収穫した収量データをつき合わせ、最適な施肥量や作業時期を決める必要がある。そこで環境データをセンシングできるデバイスやカメラ等の観測機器を設置し、各地点の環境データや生育状況がリアルタイムで入手できるシステムの開発・導入が進められている。また、収集されたデータの蓄積・分析・活用の面でも、クラウドサービスを中心とした取り組みの進展がみられている。

こうした農業へのIT導入の動きを活かし、大きな成果に結びつけていくためには、地域の大学・自治体と関係政府機関が協力して、ITの導入をサポートできる人材の確保・充実、現場におけるIT利用の実証、知識や成果の共有促進などの施策により、営農者のITリテラシーの向上を図っていくことが望まれる。

本文は p.19 へ

技術文書に見る インターネット要素技術の動向

インターネット技術分野におけるRFC(Request for Comments)は、通信のための装置類に関する技術仕様やその運用方法などを定めた技術文書である。これを利用してインターネット関連技術のイノベーションに関する計量書誌学的考察を試みる。まず、RFCの年次採択数の変化を分析し、インターネッ

ト発達史上のイベントが採択数に反映していることを確認した。具体的に幾つかの要素技術を取り上げ、その要素技術の注目度合を文書の採択数により計測した。例えば、「OSI（開放型システム間相互接続）」や「ATM（非同期伝送モード）」など80年代から90年代にかけて注目を集めたにもかかわらずその後進展しなかった技術の推移が確認でき、議論の盛り上がり収束が観察できる。また、最近のRFCの分析結果からは、セキュリティ分野の技術および通信トラフィック量の増大への対処技術に関する検討が増大している。現在でもイノベーションを生み出す努力が続けられていることがよく観察でき、特許や論文同様、インターネット技術に関する計量書誌学的分析の対象として有効であることが分かった。

本文は p.25 へ

新しい局面を迎えたオープンアクセスと日本のオープンアクセス義務化に向けて

公的資金を得た研究成果に誰でもアクセスできるようにするオープンアクセス（OA）は、電子ジャーナルの進展と共に広がりを見せ、その存在感を増してきた。

OAは学術ジャーナルの寡占と価格高騰問題から生まれたとも言えるが、現在はオープンサイエンスなどオープンイノベーションを生み出す新しい研究開発環境の構築や研究開発投資の費用対効果を上げるために重要な要素と考えられている。こうした背景から、研究成果のOA義務化の動きが近年世界レベルで加速し、多くの国や研究機関において義務化ポリシーが策定されている。

一方、OAと親和性が高く科学の発展が期待される分野だけではなく、知財や国益などの観点からOAが馴染まない分野や事情も存在する。政策面から一律のOA化を短絡的に行うことは慎重を要し、研究者と研究者コミュニティの理解と協働が求められる。当面は科学技術振興機構（JST）で始まった研究助成対象に関するOA義務化を論文から進め、日本学術会議や日本学術振興会等を軸とした研究者による議論を深めることで、日本の事情と時機に合ったOA化を推進し、新しい情報流通形態に基づく研究基盤の構築を促す必要がある。

本文は p.32 へ

2013年の世界の宇宙開発動向

2013年は全世界で合計81回のロケット打上げがあり、通信放送衛星、地球観測衛星、航行測位衛星、宇宙科学衛星（月惑星探査機を含む）、有人宇宙船など32カ国3機関より計208機の衛星が軌道に投入された。2013年には、韓国初の独自ロケットの打上げ成功、日本と中国それぞれの新型全段固体燃料ロケットの打上げ成功、欧州の新型通信衛星の開発、インドの火星探査機及び航行測位衛星、中国の月着陸機及び月ローバ、米国や新興国の大量の超小型衛星、米国の新たな物資輸送船の登場などの新しい動きがあった。

衛星打上げは全般的に順調に行われ、国際宇宙ステーション（ISS）の運用もほぼ計画通り進められた。

ISSに参加していない中国は、2020年頃までに独自の宇宙ステーションの構築を計画しており、2013年は有人宇宙船「神舟10号」と軌道上のドッキングターゲット「天宮1号」とのドッキングを成功させ、有人飛行実績を着実に積み重ねた。2014年も宇宙開発利用に参加する国が増加していくと見込まれる。

日本の魅力の発信強化に向けた 研究開発テーマの抽出

—第9回デルファイ調査結果より—

科学技術動向研究センター

概要

東京オリンピック開催決定を機に、2020年に向けて目指すべき姿を早期実現させるための研究開発やシステム改革の議論が活発化している。オリンピックを契機とした日本への注目を好機と捉え、日本の魅力の発信を強化するとともに、その後の発展に繋げていくことが求められている。

そこで、科学技術動向研究センターは、第9回科学技術予測調査(2010年)を基に、社会実装に向けて取り組みを加速させるべきと考えられる研究開発テーマの抽出を試みた。2020年頃までに技術的な目処が立つと予測された課題(トピック)を抽出し、①高度リスク管理・低減技術、②高精度な観測・予測システム、③どこでも電力・情報インフラ、④マルチスケールエネルギーマネジメント、⑤エネルギー・資源の超高効率利用、⑥ゼロエミッション、⑦知的なセンシングによるインフラマネジメント、⑧交通モダリティの革新、⑨インクルーシブ社会の実現、⑩サービス科学によるおもてなし、⑪食と健康、⑫ライフサイエンスの最先端、⑬デジタルファブリケーション、⑭サイエンスによる日本文化・ものづくり伝承、の14テーマに分類した。

キーワード：2020年、予測、社会実装

1 はじめに

東京オリンピック開催決定を機に、2020年に向けて目指すべき姿を早期実現させるための研究開発やシステム改革の政策議論が各所で行われている。文部科学省では、若手のアスリート、アーティスト、研究者等の参加を得て、「夢ビジョン2020」¹⁾の検討を開始した。また、2020年は第5期科学技術基本計画の最終年度にもあたり、すでに、現行の第4期基本計画のフォローアップと共に第5期基本計画策定に向けた議論が開始されている。一方2030年は、科学技術イノベーション総合戦略²⁾において社会実装の目標年として設定された年であり、2020年および2030年をマイルストーンとして研究開発やシステム改革に関する議論を行うことが重要である。オリンピック開催を契機とした日本への注目を好機と捉え、日本の魅力の総合的な発信を強化

し、その後のさらなる発展に繋げていくことが求められている。

当センターは、中長期の科学技術発展に関する大規模な予測調査を1971年以来、継続的に実施しており、デルファイ調査(専門家アンケート)、シナリオライティング、ワークショップの手法を用いた第9回科学技術予測調査^{3~5)}を2010年3月に公表した。このうちデルファイ調査からは、目指すべき姿の実現への貢献が期待される科学技術について、いつ頃技術的な目処が立ち、社会で用いられるようになるかと予測されるのかを知ることができる。そこで、前述の文部科学省の議論とも連動しつつ、2020年およびその先の社会実装に向けて取り組みを加速させるべきと考えられる研究開発テーマの抽出を試みた。

2 検討の方法

検討の基としたデルファイ調査は、2040年までを視野に入れ、将来の目指すべき姿を実現するために重要と考えられる科学技術、および、科学技術発展と関連の深い社会システムや国民意識等の実現可能性について、質問を2回繰り返したものである（このように専門家に対して複数回の質問を繰り返すことで結果を収束させる手法を「デルファイ法」と呼ぶ）。この調査では、約130名の専門家による議論を経て設定した832トピックについて、2009年11月～2010年2月にアンケートを実施し、のべ2900名から回答を得た。以下に、この調査を基に当センターで行った「日本の魅力の発信強化に向けた研究開発テーマ」の抽出、検討の手順を示す。

(1) 課題（トピック）の選択

今回検討の対象となるのは、第一に、前述のようなマイルストーンが設定されていることから、2020年頃までに技術的に目処が立ち、社会実装の姿が描ける段階まで達していると考えられる科学技術やシステムである。そこで、a) 2020年頃までに技術的な環境が整い、2020年代には社会に実装されると予測されたトピック、および、b) 2020年代に技術的環境が整うと予測されているが、その前倒しが期

待されるトピックを選択した。

第二に、「日本の魅力の発信」という観点から、我が国が魅力を有する技術を選択した。ここでの「魅力」とは、他国に先駆けている事項、あるいは、他国との違いが際立つ事項である。よって、必ずしも現時点で我が国の強みと言えるものとは限らず、我が国の先行的な取り組みが将来的に他国への展開に繋がる場合も含む。

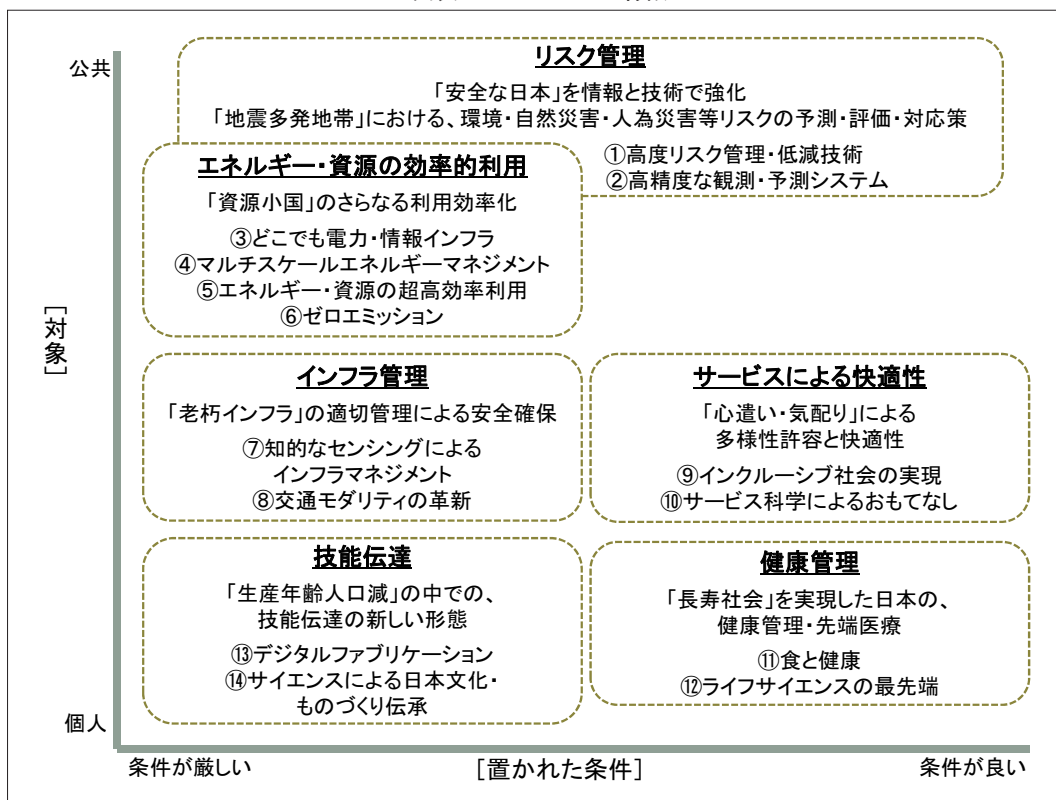
第三に、オリンピックを世界への絶好の情報発信機会と捉える観点から、観光客への直接的アピールや中継を通じた観戦者への間接的アピール、すなわち、国内各地をショーケース化することに寄与するトピックを抽出した。以上の3段階のフィルタリングを行い、全てを通過したトピックに関して、以下の手順を適用した。

(2) テーマの抽出

課題（トピック）単体では、必ずしも機能を発揮しないケースや、利用のイメージが湧きにくいケースが多い。そこで、全832トピックのうち、技術的内容を含み、かつ2020年までに技術的な環境が整うと予測された544トピックを基に、日本の魅力およびショーケース化を考慮して、関連するトピックを組み合わせ、14のテーマにまとめた。

この14テーマの特徴を2軸で図示したのが図表1である。縦軸は、そのテーマの実現する機能が個人を対象としたものか、社会を対象としたものか、と

図表1 14テーマの特徴



いうサービス対象の粒度である。横軸は、日本の魅力を強化するのか、日本の課題を価値に転換するのかという、テーマが置かれた条件の良否である。条件が良い側には、安全、心遣い・気配り、長寿社会を、条件が厳しい側には、資源小国、地震多発地帯、老朽インフラ、生産年齢人口減を置いた。

3 テーマの概要

本章では、上述の手順によって作成された各テーマの概要、2020年頃の社会実装への期待、現時点での取り組み事例を簡単に紹介する。なお、以降の図表において「技術の実現時期」についてアンケートを行った結果が記載されているが、この情報は2009年に実施した結果から引用しており、現在の科学技術の進展や社会的環境の変化（東日本大震災の影響等）は反映されていないことに留意が必要である。

(1) リスク管理—情報収集・分析と先端技術により社会の安全性を強化—

ここには以下の2テーマが含まれる^{6~9)}。

- ①高度リスク管理・低減技術：テロ、災害、環境汚染、感染症など広範にわたるリスクについて、モニタリング、予測、検知、防止など様々な段階で対応策が講じられる。
- ②高精度な観測・予測システム：気象・災害シミュレーションのデータ同化も含め、被害軽減のための高精度なシステムが構築される。

考慮すべきリスクは、自然災害から故意の事故まで広範にわたる。ビッグデータ活用も含めた情報収集、観測・予測・シミュレーション・検知技術のレベル向上、各種データの統合等により、より適切なリスク管理を可能とする情報と手段の提供が期待される。

2020年頃には、自動収集した環境情報を活用した気象変化や災害予測等が実現されていることが想定される。オリンピック開催期間には、リスク管理と適切な情報提供により安全と安心を提供し、併せて、災害大国である日本の防災用品・設備や対策を紹介すること等が考えられる。

図表2 「リスク管理」に関連する科学技術の例

①高度リスク管理・低減技術		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
国土地理情報と流域圏、生態系および災害リスク分布の情報が統合された情報インフラが整備され、それにもとづく国土規模の計画や管理のための技術や制度	2017	2022
介護ロボットの適用における人-ロボット間のリスク管理技術	2018	2026
人や家畜、農業生産、自然生態系に及ぼす、長期的な有害性を持つ化学物質のリスクを管理・低減する技術	2019	2026
大気・水質・土壌汚染の環境動態シミュレーション技術を用いた健康リスク・生態リスク評価とそのアセスメントへの利用	2019	2026
ウイルス変異予測シミュレーションに基づく総合的危機管理システム	2020	2027
爆発物や兵器、毒物等を迅速に発見してテロや環境汚染等を未然に防いだり、災害発生時には被災者を速やかに発見し救助を支援できるよう、人間の知覚能力を超えた視覚・嗅覚・聴覚等を有するロボット	2020	2027
超大規模複雑システムの運用段階において、システム障害の発生リスクが許容値を越えた場合には直ちに検出・検知し、システム障害を自律的に未然に防止できる技術	2021	2031
②高精度な観測・予測システム		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
陸海シームレスの観測データ整備	2018	2026
温室効果ガスの自然による発生・吸収・固定の現状とメカニズムの解明	2018	-
気象現象により発生する大規模な自然災害から人的被害を未然に防ぐため、気圏、水圏、地圏に対する全国高精度観測システムが完成し、災害の事前予測(1時間程度)に基づく警報・避難・規制が可能となる。	2019	2027
我が国の陸域並びに海岸から20km以内の近海域において、雲量と降水系の結合モデリングの精緻化と常時観測技術が結合した防災を目的とする総合的水管理システム	2019	2027
日本海溝から三陸沖・東北地方東地域、南海トラフから東海・東南海・四国沖地域周辺で、過去においてM6以上の地震震源域周辺50km以内の複数地点で海底下1000m以上の地殻深部の歪力変動を測定し、地震予測の精度向上を目的とした地殻活動モニタリングシステム	2020	2028

注：技術実現—世界のどこかで、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う時期。社会実現—日本において、実現された技術が製品やサービスなどとして利用可能な状況となる時期。

出典：参考文献3を基に科学技術動向研究センターにて作成

現在、観測関連では、「気候変動適応戦略イニシアチブ」（文部科学省）、「超小型衛星研究開発事業」（文部科学省）等により、観測、シミュレーション、データ同化等の取り組みが実施されている。また、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構統計数理研究所や独立行政法人理化学研究所には、データ同化に関する研究開発を行う部署が設置されている。

(2) エネルギー・資源の効率的利用—資源小国のさらなる利用効率化—

ここには以下の4テーマが含まれる^{10~12)}。

- ③どこでも（ユビキタス）電力・情報インフラ：情報インフラ整備が、それ自身の便益を提供するのみならず、交通やライフラインなど社会基盤の高度化にも寄与する。
- ④マルチスケールエネルギーマネジメント：電気・ガスに加えて水素等のクリーンなエネルギー

図表3 「エネルギー・資源の効率的利用」に関連する科学技術の例

③どこでも(ユビキタス)電力・情報インフラ		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
いつでもどこでも自身の情報環境に安全に自由にアクセスできる社会インフラとしてのユビキタス環境	2016	2020
自己給電型(周囲環境のエネルギーを吸収し発電)無線通信センサ	2017	2023
パブリックな駐車場、道路交差点での駐停車時に電気自動車、ハイブリッド自動車に逐次充電する非接触充電インフラ技術	2017	2023
高速道路において、電気自動車、ハイブリッド自動車の走行時に常時給電可能なインフラ技術	2019	2027
④マルチスケールエネルギーマネジメント		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
宅内通信ネットワークを用いて家電機器、太陽光発電装置、蓄電池等を統合制御し、CO ₂ 排出を削減する家庭用エネルギーマネジメントシステム(HEMS)	2014	2019
中小企業でも導入可能な工場全体のエネルギーマネジメントシステム(FEMS)	2014	2019
エネルギー需給双方に影響を及ぼす消費者心理、セキュリティ、リスク、政策効果等が分析出来るエネルギーシステムの社会経済モデル・ツール	2015	2020
大型電源から太陽光などの分散型電源および需要機器まで、全体の需給バランスをICTを活用し最適に運用することにより、低コスト、安定供給、低炭素化電力供給が可能となるような次世代送配電ネットワーク技術	2018	2025
革新的水素貯蔵材料技術(水素貯蔵量 10 重量%以上、放出温度 100°C程度)	2026	2034
再生可能エネルギー(風力・太陽光等)で製造した CO ₂ フリー水素の国際的な需給ネットワーク	2026	2035
⑤エネルギー・資源の超高効率利用		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
現時点で効率的な処理法、利用法が開発されていないレアメタルなどを含む家電製品などの一般廃棄物を、将来利用可能な形態で安全・安価に貯蔵するシステム	2017	2023
廃棄時の低環境負荷での再生・再利用を考慮した太陽電池システム	2017	2024
都市鉱山として多くの希少金属の必要資源量の50%以上が供給されるような、一般・産業廃棄物と焼却灰・飛灰から希少金属を合理的に回収・利用する技術	2018	2024
間欠的に生じる未利用熱エネルギーを効率よく利用する技術	2018	2025
「資源投入→設計・生産→使用→廃棄」と「回収→選別→再資源化」が一体となった循環型製造システム	2018	2025
エクセルギーのみで使いにくい低品位熱エネルギーを効率よく高エクセルギー状態に転換する技術	2019	2026
⑥ゼロエミッション		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
石炭やバイオマス、廃棄物等の多原料から、電力、合成燃料および化学原料を併産するプロセス技術(コプロダクション・コプロセッシング)	2017	2024
資源のリユースのため、工場製造設備等の9割以上を廃棄時に、構成素材を単一素材まで分解する技術	2019	2027
廃棄物の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、製品の90%以上がリサイクル(サーマル、ケミカル、マテリアル)される設計・製造・回収・再利用システムが普及	2019	2027
家庭の廃棄物排出負荷を大幅に低減し収集も不要とする、家庭単位の廃棄物処理・循環技術	2019	2028
全ての産業ごとに、製品の製造から廃棄までのライフサイクルと生態系影響を考慮して環境負荷を半減させるエコファクトリー化・低エントロピー化技術が普及	2021	2030
石油を原料としていた化学ポリマーの半分以上が、再生可能なバイオマス資源由来となる	2022	2030

注：技術実現—世界のどこかで、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う時期。社会実現—日本において、実現された技術が製品やサービスなどとして利用可能な状況となる時期。

出典：参考文献3を基に科学技術動向研究センターにて作成

キャリアが利用され、分散型電力ネットワーク管理、住宅・ビル・地域内のエネルギー管理等、需要家によるデマンドレスポンスも含め、様々なスケールでエネルギー需給バランスの最適化が図られる。

⑤エネルギー・資源の超高効率利用：排熱等の未利用エネルギーや廃棄物資源を最大限に有効利用する技術・システムを実現する。

⑥ゼロエミッション（ライフサイクルアセスメント含む）：環境負荷を大幅に低減させた生産・消費のシステムを構築する。

多様なエネルギーのマネジメント、未利用あるいは廃棄エネルギー・資源の有効利用、環境負荷の低い自動車の普及等、無駄を排し持続可能性を考慮したシステム構築が期待される。情報インフラは、その自由度と安全性を向上させ、社会インフラ管理や利用高度化に不可欠のものとなる。

2020年頃には、電気自動車の走行中非接触充電の実現、燃料電池自動車の普及と水素供給インフラの整備などが考えられる。オリンピック開催期間には、会場でのエネルギーマネジメントシステムの稼働、きめ細やかなエネルギー活用や廃棄物回収・再利用システムの実現が考えられる。

現在、「元素戦略／希少金属代替材料開発」（内閣府、文部科学省、経済産業省）、「まちづくりと一体になった熱エネルギーの有効利用に関する研究会」

（経済産業省）、「スマートコミュニティ・アライアンス」（官民連携組織）、「燃料電池自動車・水素供給インフラ整備普及プロジェクト」（産業競争力懇談会）、「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）など、研究開発からまちづくりまで多様な参加者による技術や制度等の検討が進んでいる。

(3) インフラ管理－老朽インフラの適切な維持管理と新技術・システム導入－

ここには以下の2テーマが含まれる^{13,14)}。

⑦知的なセンシングによるインフラマネジメント：耐用年数を超えた道路・トンネル・橋梁等大型構造物の劣化状況モニタリング、並びに、それに基づく適切な修繕・新設が行われる。

⑧交通モダリティの革新：情報通信技術等の活用により、快適かつ安全な移動手段が整備される。

大型構造物の点検・補修・更新について、劣化状況の非破壊検査、残存寿命推測、点検自動化等の技術が進展し、さらに得られた情報をデータベース化して管理することが期待される。また今後建造されるビルや大型構造物については、点検・補修等を考慮した設計とセンサ埋め込み等が常態となることが期待される。交通インフラについても、情報インフラおよびセンサ等関連技術を活用した安全性と効率の向上や、自動車の自動運転の進展

図表4 「インフラ管理」に関連する科学技術の例

⑦知的なセンシングによるインフラマネジメント		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
老朽化が進む上下水道インフラの更新や、中水道など水の循環利用システムを含む再構築を効率的に行う技術	2017	2023
金属材料の劣化を非破壊検査し、残存寿命を使用状態で推測する技術	2018	2026
インフラ劣化防止・修繕・新設に関する設計・施工技術に基づいた劣化環境の高精度モデル化が可能となり、ライフサイクルマネジメントやアセットマネジメントが十分な精度をもって実用化される	2019	2025
構造物の劣化度、寿命、更新時期を知らせる半永久的な埋め込み型センサ技術	2019	2026
老朽化したインフラ、自然災害の被害を受けた危険箇所の点検と補修工事、自然・人為災害の人的被害を最小化するために、人に代わって安全・効率的・安価な屋外作業の遠隔化・半自律化・自動化を実現するインテリジェントシステム・ロボット	2019	2028
⑧交通モダリティの革新		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
発信者の位置や周囲の情報・状況が瞬時に伝えられ、その人にあったサービスを提供するシステム	2014	2019
多数の移動体(バス、電車、新幹線、飛行機、船等)からの情報を一元的に管理するネットワーク制御、運用技術	2015	2021
多種多様な通信方式の差異を隠蔽し、利用者にアクセス方式を意識させないで利用可能なシームレス通信(家庭内で放送、通信、家電機器間のシームレスな情報流通や、屋外で車-車間、車-センター間の交通の情報流通が可能になる)	2016	2022
自動車内に各種センサが配備され、一般道における追突事故や出会いがしらの衝突事故などを未然に防ぐとともに、エンジンやタイヤなど故障の予知が可能となる運転システム	2017	2023
目的地を入力すると自動運転で到達できるシステム	2021	2035

注：技術実現－世界のどこかで、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う時期。社会実現－日本において、実現された技術が製品やサービスなどとして利用可能な状況となる時期。

出典：参考文献3を基に科学技術動向研究センターにて作成

が期待される。

2020年頃には、社会インフラの非破壊検査、センサ埋め込み等による劣化監視と減災対策、自動車の自動運転による渋滞・事故減少や環境負荷低減等の実用化が考えられる。

現在、「日本再興戦略」において、「安全運転支援装置・システムが国内販売新車に全車標準装備」、「国内の重要インフラ・老朽化インフラは全てセンサ、ロボット等を活用した高度で効率的な点検・補修」と、2030年の目標が掲げられている。総務省情報通信審議会の「イノベーション創出実現に向けた情報通信技術政策の在り方中間報告書」では、情報通信技術を活用した交通インフラについて取り上げられている。センサによる橋梁の維持管理も数例であるが実施されており、非破壊検査のための小型中性子源システムの研究開発が独立行政法人理化化学研究所において取り組まれている。

(4) サービスによる快適性—心遣い・気配りによる多様性許容と快適性の提供—

ここには以下の2テーマが含まれる^{15~17)}。

- ⑨インクルーシブ社会の実現：身体的特徴、年齢、国籍、文化等の多様性を許容し、活動・活躍の機会が広く提供される。
- ⑩サービス科学によるおもてなし：サービスサイ

エンスや人間理解（脳科学、認知科学、行動科学等）の研究成果を活用し、快適な日本滞在を提供する。

海外からの観光客や在住者の増加に伴う文化・価値観の多様性や身体機能の多様性を許容する社会システム構築を目指し、科学技術が貢献できる余地は大きい。人文・社会科学も含めた総合的アプローチにより、人間の心理や行動、組織行動等の科学的理解を進め、快適性という価値を提供することが期待される。

2020年頃には、高齢者や障害者の視点による心地良い空間を提供する都市インフラやサービス設計が考えられる。また、母国語での情報提供・案内、快適な移動環境の提供、国内観光を支援する疑似体験ブースやアレンジシステムなど、快適な日本滞在のためのサービスが考えられる。

現在、内閣府の最先端研究開発プログラムの一つ「健康長寿社会を支える最先端人支援技術プログラム」において、ロボット工学をはじめ様々な学術領域を融合した取り組みがなされている。また、自動翻訳の研究開発が、独立行政法人情報通信研究機構や(株)国際電気通信基礎技術研究所等で行われている。サービス科学関連では、独立行政法人科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業の中で、ビッグデータやユーザインタフェースに関するプロ

図表5 「サービスによる快適性」に関連する科学技術の例

⑨インクルーシブ社会の実現		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
高齢者、身体障害者が情報ネットワークに参加しやすい情報端末機器及びソフトウェア	2014	2019
ものづくりの過程において、高齢者や女性の特性に配慮してその労働をサポートするインテリジェント生産システム	2017	2024
言語だけでなく文化的背景や地名人名などの固有名詞なども自動学習し機械翻訳できるシステム	2020	2029
高齢者が単独で安心して door-to-door の移動ができる、地区から広域に至るシームレスな交通システム	2022	2030
脳科学の進展により、人間の直感や創造力などの高次メカニズムが明らかになり、経営の実務で利用されるようになる	2025	2035
視覚障害者・聴覚障害者・発話困難者がイメージする情報をイメージに忠実に可視化・可聴化・言語化して、他の人に伝達することができる技術	2028	2037
⑩サービス科学によるおもてなし		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
現実世界の隅々にまでセンサなどが配備され、現実空間全体の情報をネットワークを通して検索できるようになり、検索キーで指定した任意の地点の気象状況、風景等を知ることが日本全国でできるようになる	2016	2023
顧客によりよい体験を与えるインタフェースの製造技術	2017	2024
認知心理学や脳科学などの理論から、消費者自身が自覚していないニーズやウオントを理解(言語化が困難な考えや感情を可視化)する技術	2019	2025
センシングに基づいて、匂いや味を再現できるディスプレイ	2020	2028
人間が求めているサービスを解析し、サービス提供者に対して適切なアドバイスやガイダンスを与えるための認識技術	2020	2029
注：技術実現—世界のどこかで、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う時期。社会実現—日本において、実現された技術が製品やサービスなどとして利用可能な状況となる時期。		

出典：参考文献3を基に科学技術動向研究センターにて作成

ジェクト等が実施されている。また、同機構社会技術研究開発センターには、「問題解決型サービス科学研究開発プログラム」が設けられている。

(5) 健康管理－長寿社会日本の健康管理・先端医療－
 ここには以下の2テーマが含まれる^{18~21)}。

⑪食と健康：日常生活における諸活動を通じて健康を保ち、質の高い生活を送るための技術やサービスが提供される。

⑫ライフサイエンスの最先端：ライフサイエンスの最先端技術により、生活の質向上が図られる。究極の医療とも言える予知・予防の技術が進み、社会システム作りと併せ、日常生活の中での健康状態の維持・管理が、個人の意志や意識の程度に関わらずなされ、深刻な事態になる前に適切な選択がなされることが期待される。また、ライフサイエンス・医療技術の進展が革新的な診断・治療法をもたらし、病中病後の生活の質を向上させることが期待される。

2020年頃には、食と健康との科学的解明が進み、体調に合わせた食事や運動の調整など、心身の健康を保つための情報提供が考えられる。また、最先端の医療を提供する医療ツーリズムや、温泉療養など観光を兼ねた保養機会の提供も考えられる。

現在、食関連では、「機能性を持つ農林水産物・食品開発プロジェクト」(農林水産省)が実施されている。医療チップ関連では、「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト」(独立行政法

人新エネルギー・産業技術総合開発機構)が実施された。また、独立行政法人理化学研究所や独立行政法人産業技術総合研究所には、バイオマーカーの研究開発を担当する部署が設置されている。最先端医療の一つである再生医療については、国家課題対応型研究開発推進事業「再生医療の実現化プロジェクト」(文部科学省)が平成15年度から10年計画で実施されている。

(6) 技能伝達－団塊世代引退を機とする、技能伝達・伝承の新しい形態－

ここには以下の2テーマが含まれる²²⁾。

⑬デジタルファブリケーション：短時間試作や個人仕様のものづくり、生産工程の関連業務のデジタル化等、ものづくりに新たな可能性を付与する。

⑭サイエンスによる日本文化・ものづくり伝承：高齢化や生産年齢人口減の中で、技能・ノウハウ等を確実に伝承するシステムを構築する。

生産年齢人口減少に伴い、ものづくりや伝統工芸の場での技能伝達・伝承が課題となっており、技能の明示化と短期習得のための技術・システムの開発が期待される。一方、ユーザーを巻き込んだ新たな発想、低コスト・低環境負荷の実現、短期間での試作など、ものづくりの革新も期待される。

2020年頃には、研究開発従事者、メーカー、ユーザーの融合の場としての拠点が作られ、また、伝統工芸の分野でも技能伝達の新しい試みがなされる

図表6 「健康管理」に関連する科学技術の例

⑪食と健康		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
生活習慣病のリスクを正確に反映するバイオマーカーに基づく療養指導	2017	2022
人の日常の運動能力を退化させることなく、かつ必要時に運動能力をアシストできるアクチュエータ技術	2017	2023
半導体チップ上に数千~数万の反応容器を集積化し、多種類の反応ライブラリーとして活用することで、酵素反応、抗原抗体反応等の活性、リガンド探索、反応条件検討などの、多くの生体反応の検出を一瞬で可能とするナノチャンパーアレイ	2018	2024
生活習慣病予防を目的とする、個人のためのテーラーメイド機能性食品	2019	2026
人体に埋め込まれ、体温や血流などの生体エネルギーを利用して半永久的に動き続け、健康状態のモニターやペースメーカーのような生体機能補助を行うことができる医療チップ	2020	2028
⑫ライフサイエンスの最先端		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
iPS細胞を利用した再生治療技術	2021	2032
タンパク質の高次構造から、タンパク質-タンパク質間の相互作用、タンパク質とDNAやRNAとの相互作用、タンパク質と合成化合物の相互作用などを含む生物活性を精緻に予測する技術	2019	2028
がんの転移機構の解明	2019	-
アルツハイマー病やその他の変性疾患の原因の分子レベルでの解明により、進行を阻止する技術	2020	2031
注：技術実現—世界のどこかで、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う時期。社会実現—日本において、実現された技術が製品やサービスなどとして利用可能な状況となる時期。		

出典：参考文献3を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表7 「技能伝達」に関連する科学技術の例

⑬ デジタルファブリケーション		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
デジタルモックアップにより、研究開発・設計の期間短縮、製品競争力強化を狙いとして、強度、性能、信頼性、環境性、生産性などを総合的に評価する技術	2015	2019
3次元イメージをもとに10分以内に試作金型を製造し、試成形を行うRPM(Rapid Product Manufacturing)技術	2016	2022
パーソナルファブリケーション(欲しい仕様のモノを自ら製造・利用あるいはグループシェア)のための、3Dプリンタやマイクロファクトリーなどの汎用型個人用小型加工システム	2017	2025
設計、開発、製造、運用、保守、廃棄などの生産活動を支援(最適化・効率化・許認可申請など)する高度なバーチャルマニュファクチャリングシステム	2017	2021
⑭ サイエンスによる日本文化・ものづくり伝承		
科学技術課題(トピック)	技術実現	社会実現
熟練者の判断過程や技能・ノウハウを明示化して、他者による再利用や学習を可能とするサポートシステム	2016	2021
ものづくり、製造技術の暗黙知(基本技術・技能、ノウハウ、経験など)を形式知化する技術が確立され、技術の伝承が着実に進む	2016	2023
研究開発やマーケティング等に応用するために、認知心理学や脳科学などの理論から、消費者自身が自覚していないニーズやウォンツを理解(言語化が困難な考えや感情を可視化)する技術	2019	2025
熟練技能者と同じ知覚を再現することにより非熟練技能者に熟練技能者のスキルを短期間で習得可能とする強化スーツ	2025	2033
注：技術実現—世界のどこかで、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う時期。社会実現—日本において、実現された技術が製品やサービスなどとして利用可能な状況となる時期。		

出典：参考文献3を基に科学技術動向研究センターにて作成

ことが考えられる。オリンピック開催期間には、伝統工芸・芸能やスポーツ技能への応用により、気軽に日本文化やスポーツに触れる機会を提供することが考えられる。

現在、デジタルファブリケーションについては、内閣府の平成26年度科学技術重要施策アクションプランの中で3D造形が挙げられている。経済産業省の平成26年度予算に「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム」が盛り込まれた。また日本文化・ものづくり伝承については、「IT融合による新社会システムの開発・実証プロジェクト」(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)、「ITとサービスの融合による新市場創出促進事業」(経済産業省)、「移動知」(科学研究費補助金特定領域)など、様々なプロジェクトが動いている。

4 おわりに

今回取り上げた事例は、オリンピック東京開催決定を契機として活発化した、2020年に向けた研究開発や社会実装の議論に沿ったものであるが、当然その取り組みは2020年をもって終わるものではない。その後に取り組みが継続され、大きな経済的・社会的効果をもたらし、目指すべき社会の姿の実現を少しでも早めるものでなければならない。オリンピック開催期間には、国民自身が科学技術イノベーションのもたらした成果を生活の中で十分に実感しつつ、その後のさらなる進展への期待感を持って、日本の魅力として発信できる状態にあることが望まれる。

科学技術動向研究センターは、現在、今後30年を展望する中長期の科学技術予測調査を実施中である。展望期間の中間点に当たる2030年を中心に据え、将来の社会の方向性とそれに関わる科学技術についての検討を行っている。研究者や技術者、そして市民を含めたステークホルダーにとって有用な情報提供を目的とした調査へのご協力を、関係の方々へ引き続きお願いしたい。

参考文献

- 1) 「夢ビジョン 2020」: <http://www.mext.go.jp/b-menu/houdou/26/01/1343297.htm>
- 2) 科学技術イノベーション総合戦略: <http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/>
- 3) NISTEP Report No.140 「将来社会を支える科学技術の予測調査: 第9回デルファイ調査」、科学技術政策研究所、2010年3月
なお、本稿で取り上げた内容を含むアンケート結果を以下のサイトで検索することができる。
<http://www.nistep.go.jp/research/scisip/delphisearch>
- 4) NISTEP Report No.141 「将来社会を支える科学技術の予測調査: 科学技術が貢献する将来へのシナリオ」、科学技術政策研究所、2010年3月
- 5) NISTEP Report No.142 「将来社会を支える科学技術の予測調査: 地域が目指す持続可能な近未来」、科学技術政策研究所、2010年3月
- 6) 「災害情報伝達媒体としてのデジタルサイネージ利用の動向」、科学技術動向、No.140 (2013年11月)
- 7) 「巨大地震に備えた消防防災研究の方向性」、科学技術動向、No.138,139 (2013年9、10月)
- 8) 「各国の地球観測動向シリーズ」、科学技術動向、No.136 (2013年7月) ~
- 9) 「社会基盤情報の提供に向けた地球温暖化予測モデルの高信頼性化」、科学技術動向、No.132 (2012年11・12月)
- 10) 「新たな天然ガス高度利用技術の動向」、科学技術動向、No.141 (2013年12月)
- 11) 「CO₂低減を加速する自動車用大エネルギー容量キャパシタの研究開発動向」、科学技術動向、No.130 (2012年7・8月)
- 12) 「小水力発電の現状・意義と普及のための制度面での課題」、科学技術動向、No.129 (2012年5・6月)
- 13) 「自動運転自動車の研究開発動向と実現への課題」、科学技術動向、No.133 (2013年1・2月)
- 14) 「地震動の周期に依存した建物被害と新たな課題」、科学技術動向、No.129 (2012年5・6月)
- 15) 「情報通信技術が生み出す自立生活支援サービス」、科学技術動向、No.132 (2012年11・12月)
- 16) 「大学・大学院におけるデザイン思考教育」、科学技術動向、No.131 (2012年9・10月)
- 17) 「米国政府のビッグデータへの取り組み」、科学技術動向、No.131 (2012年9・10月)
- 18) 「健康長寿のために重要な身体活動量の測定に係る課題」、科学技術動向、No.139 (2013年10月)
- 19) 「健康長寿社会の実現に向けた喫煙リスク研究の動向」、科学技術動向、No.138 (2013年9月)
- 20) 「オランダ・フードバレーの取り組みとワーヘニンゲン大学の役割」、科学技術動向、No.136 (2013年7月)
- 21) 「新たな核酸創薬への期待 - マイクロRNA研究の最近の動向」、科学技術動向、No.124 (2011年7・8月)
- 22) 「デジタルファブリケーションの最新の動向 - 3Dプリンタを利用した新しいものづくりの可能性 -」、科学技術動向、No.137 (2013年8月)

農業をめぐるIT化の動き

—データ収集、処理、クラウドサービスの適用事例を中心に—

金間 大介 野村 稔

概要

農林水産省の調査によると、約50%の営農者がこれまでの農業経営において情報通信技術（IT）を利用しており、かつ今後も利用したいと答えている。ただし、その多くが比較的簡易な利用に留まっており、農業生産の飛躍的な向上が期待されるようなITの利用はわずかとなっている。

農産物の生産量や品質は気温、日射量、土壌水分、施肥量などの影響を大きく受ける。適切な生産管理により収益を向上させるためには、これら環境データと実際に収穫した収量データをつき合わせ、最適な施肥量や作業時期を決める必要がある。そこで環境データをセンシングできるデバイスやカメラ等の観測機器を設置し、各地点の環境データや生育状況がリアルタイムで入手できるシステムの開発・導入が進められている。また、収集されたデータの蓄積・分析・活用の面でも、クラウドサービスを中心とした取り組みの進展がみられている。

こうした農業へのIT導入の動きを活かし、大きな成果に結びつけていくためには、地域の大学・自治体と関係政府機関が協力して、ITの導入をサポートできる人材の確保・充実、現場におけるIT利用の実証、知識や成果の共有促進などの施策により、営農者のITリテラシーの向上を図っていくことが望まれる。

キーワード：農業、生産性、IT、データ収集、センサー、クラウド、ITリテラシー

1 はじめに

2013年6月14日に閣議決定された「日本再興戦略」では、日本の食と農を一大産業として開花させるという大きな展望が広がっている¹⁾。その中で、例えば農業の生産性向上を実現する一対策として、農業生産の担い手への農地集約により、農業の構造改革と生産コストの削減を推進することが謳われている。このような日本の農業の構造改革と合わせて期待されるのが、農業を支援する新たな技術形成の展開である。

農業における技術革新が期待される領域としては、①品種改良や遺伝子組み換え技術等の農産物そのものを対象とした領域、②栽培技術や土壌など生産環境に焦点を当てた領域、③輸送や保存など流通・販売に関する領域などがある。そして、これら

全ての領域に大きな効果をもたらす基盤技術として、情報通信技術（IT）への期待が高まっている。ここではその中でも特に近年、急速にIT化の進展が見られる②の「栽培技術や生産環境に関する領域」に焦点を当てて、IT化の動向を事例を中心にして概説する。

なお、農産物の生産性向上を目指した取り組みは世界中で行われているが、気象条件、地理的条件、食文化など、その国が持つ背景によって取り組み方は大きく異なる。そこで本稿では、日本独自の条件を踏まえたIT利用の可能性について論じていく。

まず次章では、現在の営農者のIT利用の実態を踏まえる。続いて第3章では、センサーやカメラ等のIT機器が圃場に導入されネットワークで結ばれることによって、各地点の環境データがリアルタイムで自動かつ容易に収集できるようになってきた

ことを紹介する。また第4章では、収集された環境データの蓄積や分析がクラウドサービスを利用することによって、より高い利便性を伴って提供されるようになってきたことを紹介する。そして第5章で、これらのIT利用を促進する上での課題と今後の取り組みについて述べる。

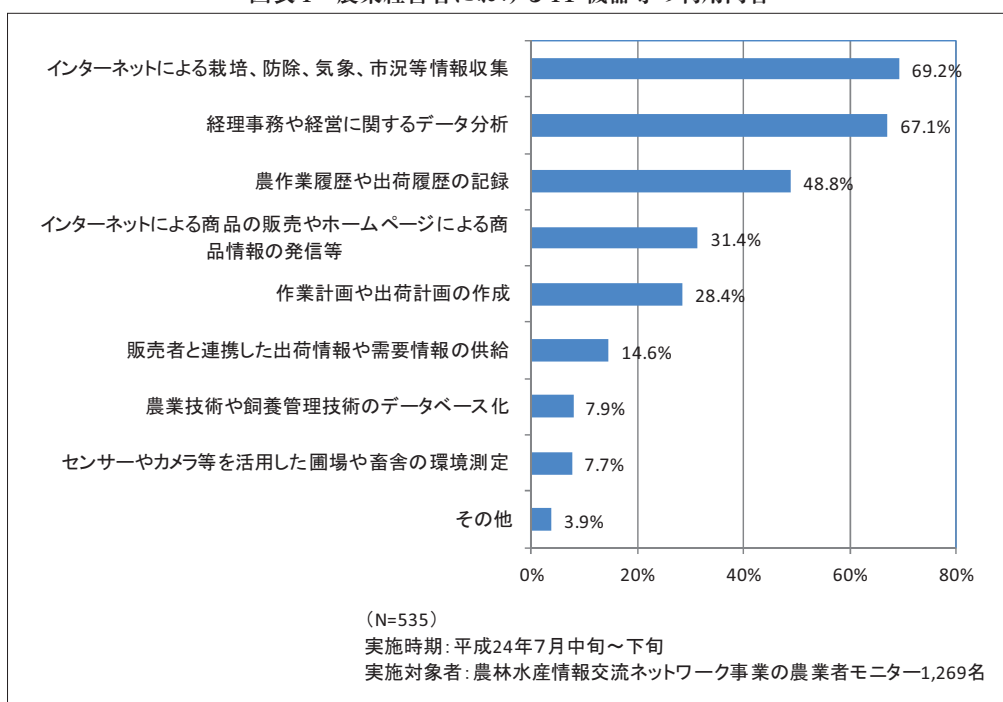
2 農業生産におけるITの利用状況

2012年7月に農林水産省が行ったアンケート調

査²⁾によると、回答を寄せた1,061名の営農者のうち50.4%がこれまでの経営においてITを利用しており、かつ今後も利用したいと答えている。また、これまでは利用していないが、今後は利用したいと答えた営農者も21.7%存在している。

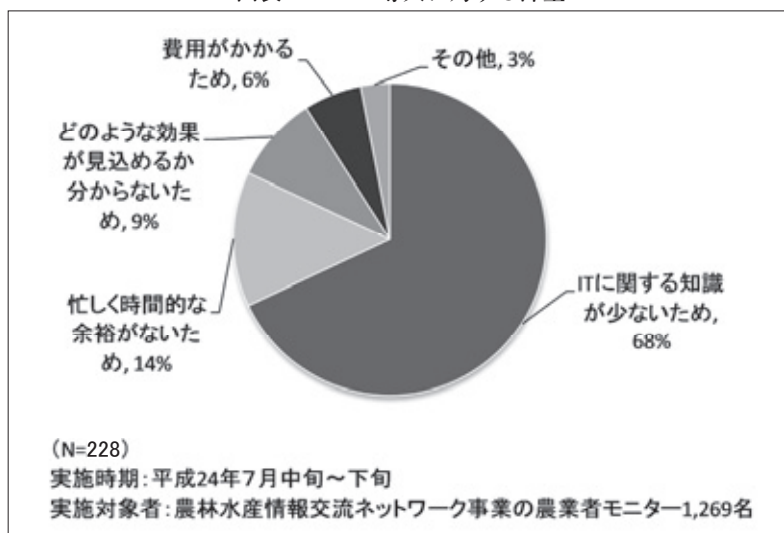
ただし、ITを利用していると答えた営農者に対する利用内容に関する質問では、その多くがインターネットによる情報収集や経理事務等のデータの蓄積、農作業履歴や出荷履歴の記録など比較的簡易な利用に留まっており、農業技術のデータベース化（知識の蓄積・活用）やセンサー等を活用した環境測定など、農業生産性の向上に結びつくと期待されるITの利用はまだわずかとなっている（図表1）。

図表1 農業経営者におけるIT機器等の利用内容



出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 ITの導入に対する障壁



出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

また、「これまでは利用していないが、今後は利用したい」と答えた 21.7% の営農者に対し、なぜ利用してこなかったかをたずねた質問では、図表 2 の通り、IT に関する知識の少なさが圧倒的多数となっている。このような IT リテラシー不足の背景として、1 つには営農者の高齢化が挙げられる。農林水産省の「農林業センサス」調査³⁾によると、2010 年度の基幹的農業従事者^{注)}の平均年齢は 66.1 歳に達している。

3 IT 機器の導入とネットワーク化による環境データの収集

農産物の生産量や品質は、気温、日射量、土壌水分、土壌温度などの環境条件と、施肥量や作業時期などの影響を大きく受ける。適切な生産管理によって収益を向上させるためには、これら環境条件と実際に収穫できた収量データをつき合わせ、場所に応じた最適な施肥量や作業時期を決める必要がある。

収量に関するデータは、近年ではかなり正確に把握できるようになってきている。農産物のサイズや品種等に対応した細かなデータを所有している事例もある。一方、環境データに関しては、現在、多くの営農者はこまめに圃場を見てまわり、作物の様子を観察している状況にある。実際の圃場は複数の場所に分散していることも多く、手間と時間を要する作業となっている。また、果樹園などでは急峻な傾斜地も多い。糖度が高い高品質な果実を生産するには、土壌水分や果樹の樹体水分を適切にコントロールする必要があり、そのために一日に何回も斜面を上り下りしながら葉の様子を見ている⁴⁾。つまり、環境データに関しては、まだアナログ的なデータ収集に留まっているのが実態である。

そして、そこまで手間をかけてもなお、土壌水分や土壌温度などの環境条件までは正確につかむことは難しい。そこで、IT を導入することによって、温度や水分など圃場・栽培管理にかかる様々な指標をデータベース化することで、生育条件の最適化を図る取り組みが活発化している。

圃場において、これら環境データをセンシングできるデバイス、カメラ、通信機器等の観測機器を設置し、ネットワークで結ぶことによって、各地点の環境データや生育状況がリアルタイムで手に入り、適切なフィードバックを促すことで安定的な収量

と品質を実現する一助となる。

また、地理情報システム (GIS) を活用する取り組みも進められている。GIS の活用例としては、地図と圃場の環境データ、衛星測位を組み合わせる多くの情報を分析し、地図などの形で視覚的に表示できるシステムがある。例えば、植物の葉が赤領域の波長の光を吸収し、近赤外線領域の波長の光を反射する特性を活かして、人工衛星等から農地の可視光と近赤外光の分光デジタル画像を撮影・解析して、作物の生育診断・栽培管理などに利用する技術が実用化されている⁵⁾。

(株)日立ソリューションズが開発したシステムの例では、収穫直前の小麦の圃場の衛星画像を解析することで、地域全体の小麦の生育具合の相対的な違いが把握できる。小麦は生育が進むと穂に含まれる水分が減ってくるため、この相対的な違いを元に収穫順序を決めれば、生育の進んだところから収穫が可能になる⁶⁾。

以上のようにデータ収集の自動化・容易化が進められてきているが、今後の問題として、データの互換性が考えられる。現状では IT 企業が提供するそれぞれのアプリケーションによって異なる保存形式でデータが蓄積されている。もし一営農者の範疇を超えて地域全体の生産性向上を図ろうとすれば、データの保存形式の違いが大きな障害になる。したがって、それぞれのデータを統合し、データ相互間に関係性をつけるなどの処置により一つのビッグデータとして蓄積・解析することも今後は試行していく必要があるだろう。

4 クラウドサービスによる収集した環境データの蓄積・分析・活用

IT の適用は、収集されたデータの蓄積・分析によるノウハウや知識の活用の面でも、すでに民間レベルで進められている。収集されたデータを基にした水遣り作業の自動化、病害虫発生の自動検出、さらには消費者への在庫情報や品種情報の提供に活かしていく仕組みである。しかもこれらの処理をクラウドで行うことにより、一営農者では設備化が不可能だったコンピュータ、ストレージ、アプリケーションなどのコンピュータリソースの活用が可能になっている。

図表 2 のように、これまでは IT に関する知識不

注 専業農家あるいは兼業農家のうち仕事への従事状況として農業が主である農家のこと。

足のために、ITの活用までに至らなかった営農者たちも多かった。しかし、クラウドサービスによる所有から共有の発想の転換により、必要なときに必要なコンピュータリソースを安価で活用できるようになり、さらにサービスの提供を得られることでIT活用に対する障壁が低くなっている。図表3に示したように、これらの取り組みはIT企業がけん引役となって、様々なソリューションが提案されている。これまで第2次産業や第3次産業を対象に培ってきたITノウハウを農業生産や農業経営に活かすというアプローチである。サービス価格は、営農者の経営規模にもよるが、一農家や少人数の農業生産法人でも支払い可能な額となってきている。

これらの一例として、富士通(株)は信頼性の高いクラウドサービスの開発を目的として、ITで農業生産・農業経営を効率化させる食・農クラウドの検証・実践の場として、沼津工場の敷地内に露地栽培と施設栽培からなる「Akisai農場」を開設した⁷⁾。ここではデータの取得、農業に関わる各種ITの検証、クラウド経由での遠隔操作の検証を行っている。規模はハウス2棟(352㎡)と露地(約1,000㎡)で、葉物野菜、キャベツ、大根など葉物や根菜を栽培している。

この「Akisai農場」での施設栽培においては、岐阜大学の大場伸也教授らの研究グループと連携し、従来、夏の期間しか栽培していなかった「仙寿菜」の通年栽培、水耕栽培への取り組みを開始し、栽培データの取得により最適な栽培環境の把握に努めている。

農業へのクラウドサービス導入における今後の

課題としては、クラウドサービスの適用地の拡大が挙げられる。管理度の高い植物工場やハウス栽培には比較的容易にシステムを導入できたとしても、全国に点在する圃場にこれを適用させようとするにはさらなる工夫が必要になる。適用地の拡大では、施設栽培といった理想栽培環境では遭遇しなかった様々な自然現象の考慮が必要であり、管理度の多様化・高度化へ向けた研究やさらに多くの検証が必要になる。

5 農業におけるIT利用を促進するための課題と取り組み

以上、センサーやカメラなどにより生産環境データの収集の自動化が進んだこと、さらにクラウドにより収集されたデータの蓄積・分析・活用が容易となったことを述べた。今、ITは農業の現場に深く浸透しつつある。今後は、農業をめぐるIT化の動きをさらに活性化させ、期待される農産物の質の向上ならびに生産性の向上を図っていくべきである。

しかし、図表2で見たように、これを阻む要因として営農者のITリテラシー不足が指摘されている。図表4にも、ITの利用を促進するための取り組みとしてITのサポート人材の充実がトップに挙げられており、このことを裏付けている。そこで本章では、この課題の解決をめざし、地域によるITリテラシーの向上を目指した取り組みを提案したい。

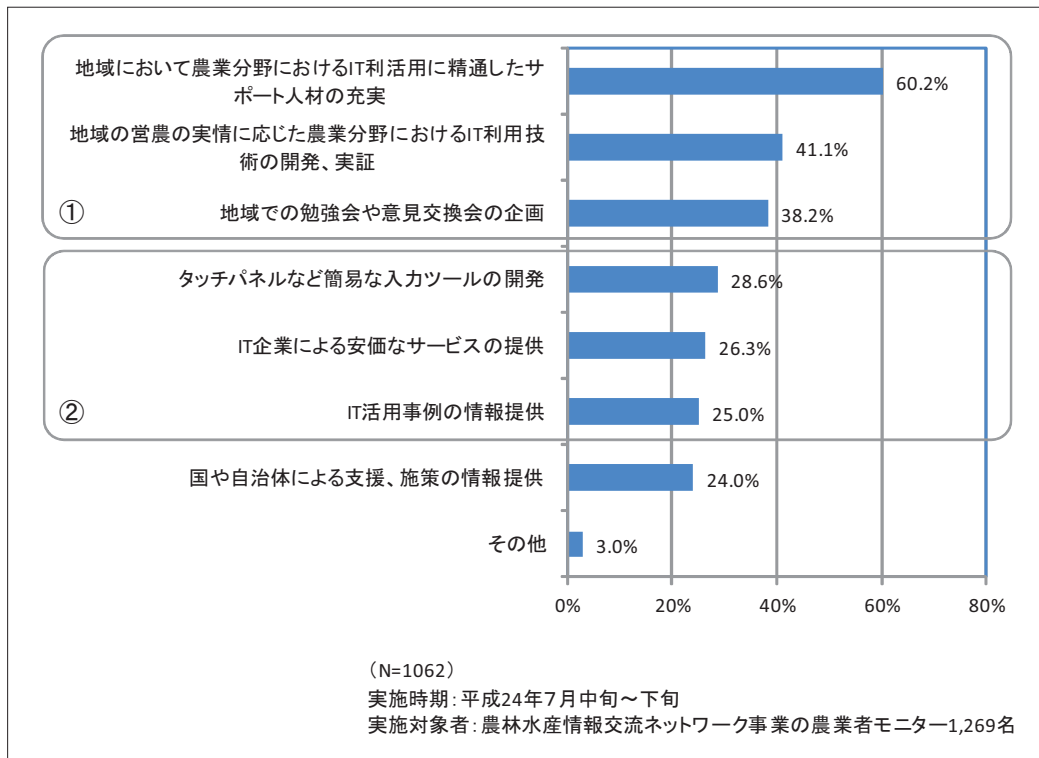
IT利用を促進するための取り組みを見てみると、

図表3 様々なクラウドサービス

提供機関	概要	主な販売対象
明治大学、ルートレック・ネットワークス、日本マイクロソフト、株式会社セカンドファクトリー等	農場内において供給する水や肥料の量を調節するシステム「ZeRo.agri」を2012年4月より共同開発。	農家
富士通	自社運営する農場を2013年6月に沼津工場内に開設し、農作物の生産計画や出荷実績を分析するシステムを実証。	農家、農業生産法人
日立ソリューションズ	農業使用状況を管理するクラウドサービス「栽培くん」を開発、2013年3月から提供開始。圃場ごとの生育状況や肥料の使用状況などの栽培履歴を記録し、クラウドで農薬の適正量などを管理。	農業生産法人、農業共同組合
NEC	タブレットを利用して種まきや施肥、収穫などの情報を入力し、作業の進捗をクラウドで管理する「営農支援クラウドサービス」を2012年9月に提供開始。	農業生産法人、農業共同組合
日立製作所、グランパ	植物工場「グランパドーム」を利用する農業生産者に対して、栽培・収穫管理などのクラウドサービスを2013年10月より提供開始。	植物工場の農業生産者

出典：参考文献8を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 4 IT の利用を促進するための取り組み



出典: 参考文献 2 を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 4 の②で囲んだ課題、すなわち、簡易な IT 機器やツールの開発、安価なサービスの提供、IT 活用事例の紹介等の課題は、民間企業の努力により徐々に解決されつつある。特に、クラウド等を活用したサービスを提供する IT 企業の活動により、IT はより身近で使いやすくなり営農者の IT に対する抵抗感も解消に向かっている。

しかし、全体的に見ればまだ IT 利用は一部のユーザに留まっているのが現状である。そこで、地域の大学や自治体、政府機関が協力して教育や実習の機会を提供することを期待したい。すなわち、図表 4 の①で囲んだ課題である、IT サポート人材の充実や、現地における IT 利用の実証、知識や成果を共有する勉強会等の企画・推進を図ることである。

例えば、経済産業省北海道経済産業局は、IT 導入により農作業の効率化を促進することを目的として、「IT 農業推進セミナー&実演・展示会」を一大農産地である十勝地域で開催した⁹⁾。このセミナーでは、営農者や農業団体の会員を対象に、大学教授や実際に IT を導入し経営改革を図っている営農者による講演や、IT 企業の実演等が行われている。このように、少しずつ IT 利用に対する障壁を解消する取り組みは広まっている。このような活動を全国的に拡大していくことにより、営農者における IT リテラシーが向上し、よりスムーズに IT の導入が図られることが期待できる。

6 おわりに

本稿では、日本において近年導入が進みつつある IT の農業生産に果たす可能性について論じた。そして、この可能性を実際の農業生産活動での大きな具体的成果につなげていくためには、地域の大学や自治体等が協力して IT 導入の障壁となっている営農者の IT リテラシーの向上を図っていくことが必要と考える。

最後に、本稿で触れることのできなかつた「品種改良や遺伝子組み換え技術等の農産物そのものを対象とした領域」(1章の①)における IT 化の効果と可能性について触れる。現在、様々なシーケンサーが登場し、ゲノム情報が以前に比べ廉価に入手できるようになった。画期的な特質を備えた新品種の開発は、農業の生産性と質の向上に対し大きなインパクトをもたらす可能性がある。ただし、大量のゲノム情報を育種で効果的に活用するためには、試験圃場の環境データをできる限り高密度に補足して、長期間観測し続けることが必要である。このことは、生産現場における IT 化が発展することで、品種改良等の研究を加速させることが可能になることを示唆している。

参考文献

- 1) 「日本再興戦略 -JAPAN is BACK-」 pp. 79-83, 2013年6月
- 2) 農林水産省「農業分野における IT 利活用に関する意識・意向調査結果」2012年9月
- 3) 農林水産省「農林業センサス」2010年
- 4) 平藤雅之「フィールドサーバを利用して生産性向上を」、AFC フォーラム 6月号、pp.7-10、2012年
- 5) (財)社会開発研究センター [編]、高辻正基・石原隆司 [監修]「農業技術イノベーションー農業はここまで工業化・IT化できる」日刊工業新聞社、p.100、2011年
- 6) 西口修「最先端情報システム活用で変わる日本農業」AFC フォーラム 6月号、pp.11-14、2012年
- 7) 富士通(株)ホームページ (アクセス日時 2013年12月10日)
<http://jp.fujitsu.com/solutions/cloud/agri/>
- 8) 小笠原啓「『攻めの農業』はITが決め手」日経コンピュータ 2013年6月13日号 p.11
- 9) 経済産業省北海道経済産業局「IT 農業推進セミナー & 実演・展示会 2013 in 芽室」2013年

執筆者プロフィール



金間 大介

科学技術動向研究センター 客員研究官

博士(工学)。専門は産学連携と知的財産、科学技術予測、ナノテクノロジー分野の研究動向など。産学連携活動の分析や技術予測プロジェクトに従事し、中・長期的な技術トレンドと経済社会との関係に興味を持つ。



野村 稔

科学技術動向研究センター 客員研究官

企業にてコンピュータ設計用 CAD の研究開発、ハイパフォーマンス・コンピューティング領域、ユビキタス領域のビジネス開発に従事後、現職。スーパーコンピュータ、ビッグデータ、半導体技術、LSI 設計技術等の科学技術動向に興味を持つ。

技術文書に見る インターネット要素技術の動向

藤井 章博

概要

インターネット技術分野における RFC (Request for Comments) は、通信のための装置類に関する技術仕様やその運用方法などを定めた技術文書である。これを利用してインターネット関連技術のイノベーションに関する計量書誌学的考察を試みる。まず、RFC の年次採択数の変化を分析し、インターネット発達史上のイベントが採択数に反映していることを確認した。具体的に幾つかの要素技術を取り上げ、その要素技術の注目度合を文書の採択数により計測した。例えば、「OSI (開放型システム間相互接続)」や「ATM (非同期伝送モード)」など 80 年代から 90 年代にかけて注目を集めたにもかかわらずその後進展しなかった技術の推移が確認でき、議論の盛り上がりと収束が観察できる。また、最近の RFC の分析結果からは、セキュリティ分野の技術および通信トラフィック量の増大への対処技術に関する検討が増大している。現在でもイノベーションを生み出す努力が続けられていることがよく観察でき、特許や論文同様、インターネット技術に関する計量書誌学的分析の対象として有効であることが分かった。

キーワード：インターネット, RFC, 計量書誌学, 統計処理

1 はじめに

計量書誌学的な研究では、特許や論文など一定の形式に基づく記述がなされた文書をその計測単位として用いる。インターネット技術分野において、通信のための装置類に関する技術仕様やその運用方法などを定めた技術文書として RFC (Request for Comments) とよばれる文書 (以下「RFC」) がある。RFC の解析によって、インターネット関連技術分野の動向をある程度把握できる。そこで本稿では、RFC における要素技術を表現する用語の出現回数や引用関係、著者・作成者の所属等を調査することで、インターネットを構成する通信機器の構成、情報伝送や表示のための表現形式などに関する計量書誌学的分析にもとづくインターネットの技術動向の把握を試みる。

2 RFC の成り立ち

2-1 歴史的経緯

1960 年代の中盤、インターネット開発の黎明期にこの文書の策定と公開が始まった。米国国防総省は、後にインターネットの母体になる ARPANET 研究プロジェクトをいくつかの大学と開始した。そこで利用される通信機器の実装方法や運用形態に関して、プロジェクトに参加する研究者間で取り決めが必要になる。そこで、技術的な内容に関する事柄を公開し、「意見募集 (Request for Comments)」という形で公開した。これが、初期の RFC の起源である。その後、より洗練された手続きが確立され、インターネット関連技術全般に渡って各種要素技術の仕様を表す文書としての性格を持つに至った。

一連のRFCを策定するのは、IETF (Internet Engineering Task Force) と呼ばれる団体である。これは、インターネット技術の標準化を推進する任意団体である。インターネットの黎明期に非公式な形で設立され、1986年にインターネットの運営を司る団体によって、正式に設置された。IETFは、技術仕様の保存、公開をこのRFCによって行ってきた。特許や学術論文と比較すると内容や形式には特に制限はない。扱われる技術は、通信プロトコルやコンピュータでの蓄積や通信時におけるファイルフォーマットやその運用方法などが対象となる。

文書が正式な通番を得て採択されるまでには、注目する要素技術に関する仕様が草稿として提出された後、製品化や改良の観点から研究者・技術者が活発な議論を行う。一定の議論を経た後、参加したメンバーの投票により一定以上の承認を得たものが採択に至る。

2-2 文書の種別

RFCは、一つ一つが同じ重みをもって、新規要素技術の記述を行っているわけではなく、「インターネット標準に関する文書」と「その他の文書」に大別できる。前者は『インターネット標準化過程』というプロセスで処理されているRFC、つまり『インターネット標準』を形成する文書群およびその候補

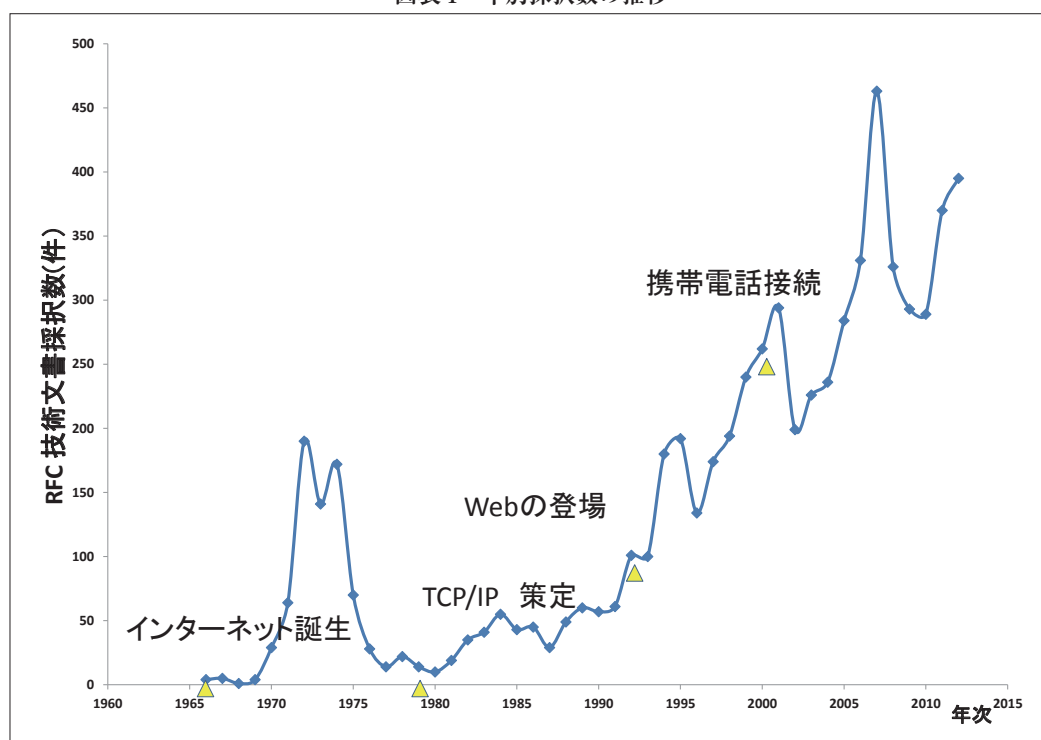
となる文書群を指す。この標準を定める文書はその標準化過程における段階に応じて3種類の文書が規定されている。標準化への提唱 (PS: Proposed Standard)、標準化への草稿 (DS: Draft Standard)、標準 (STD: Standard) の3つである。一方「その他の文書」に分類される文書標準化過程として処理されていないRFC全般が含まれている。これらを現状では、①情報 (Info: Informational)、②実験 (Exp: Experimental)、③歴史 (Hist.: Historical)、④現状 (BCP: Best Current Practice) の4種類に分類して管理している。

3 分析結果の全体像

イノベーションのダイナミクス (動態過程) を検証するための分析概念として、「ドミナント・デザイン (支配的・汎用的な製品設計)」と呼ばれるものがある⁶⁾。これを計測するための基本的な手法として、対象分野に参入する企業数を指標とし、時系列上で企業数が減少傾向を見せた時点で、対象分野の製品に関してドミナント・デザインが確立すると考えられる。

RFCとして通番が付与された形で公開されることを目指して、技術者のコミュニティに提出され、これに成功した文書は、一つ一つが何らかの要素技

図表1 年別採択数の推移



出典：法政大学理工学部ネットワーク応用研究室にて作成

術に関する記述がなされている。このことは、RFC が特許同様に、書誌学的な計測の単位として、インターネットに関する技術を俯瞰するための指標として有効であることを示していると考えられる。

(1) 年次別採択数による分析

RFC の統計的性質の全体的傾向を把握するため、図表 1 に採択文書の年次別の採択数の推移を示す。現在、採択総数は、7000 件を越え、インターネット上によく整備された形で公開されている。すなわち、RFC は、インターネット関連の要素技術の変遷をよく記録しているデータベースであるとみなすことができる。

この図から、インターネットは枯れた技術の体系ではなく、現在でも多くの技術者・研究者からの要素技術に関する提案を受け、それを採択するまで議論・検討を行うという努力が続けられていることが分かる。

次に、過去の年次別の採択数を見ると、1970 年代に採択数の最初のピークが表れる。これは、インターネットにおける通信規約（プロトコル）の基本である TCP/IP と呼ばれる一連の要素技術に関する取り決めがこの時期に集中して起こったことに起因する。この時期、TCP/IP 以外にも汎用の通信規約の候補が存在した。例えば、HDLC (High Level Data Link Control) はその代表であり、研究室レベルではそれを基礎として多様な発展系が研究されていた。しかし、1970 年代の前半に活発であった議論は、75 年ごろには一旦落ち着きを見せている。これは、いわゆる「ドミナント・デザイン」を形成

していると解釈できる。つまり、この時点で、広域情報ネットワークを実現するため通信規約に関して一定水準の体系—この場合は、TCP/IP プロトコル・スイートと呼ばれる体系—が確立したとみなすことができる。

また、1992 年ごろを境に採択数が急激に増加している。この年は、インターネットが学術利用目的に限定した状態から商用利用に開放された年である。また、このころインターネットを利用した「ホームページ」、WWW (World Wide Web) の利用が始まる。こうした要因によって、一旦落ち着いた採択数は増大してきた。

(2) 近年の採択文書タイトルの高頻度語彙

次に、ごく最近の RFC では、どのような技術について主に検討されているのか簡単に検証した。ここでは、TF (Term Frequency: 語彙の出現頻度) にもとづく簡便な分析結果を示す。統計ソフトとして「R」を、用語の解析のためのプラグインソフトとして「RMeCab」を利用した。

まず、6001 番 (2010 年 10 月採択) から 7084 番 (2013 年 11 月採択) を対象に、タイトルのみの TF 値の高い語彙の中から、技術動向を如実に表現していると考えられる語彙を筆者の判断に基づいて抽出し、図表 2 にまとめた。

ネットワークやサイトにおけるセキュリティのための要素技術、そしてネットワークの通信量が増大を続けていることから通信容量の大規模化への対応が目につく。例えば、Multi-Protocol Label Switching (MPLS) とは、IETF が標準化を進めて

図表 2 タイトル文中の TF の高い語句 (RFC6001-RFC7084)

No.	語彙	内容	頻度
1	MPLS	高速通信のための交換機技術	36
2	Security	安全性、セキュリティ	32
3	Authentication	認証	31
4	RTP	高速の転送プロトコル	31
5	Multicast	一対多通信	20
6	Cryptographic	暗号化	17
7	Mobile	モバイル	15
8	Congestion	輻輳	10
9	RTCP	高速の転送プロトコル	10
10	Certificate	認証	10
11	Elliptic	楕円 (楕円鍵暗号の名称の一部)	10
12	Kerberos	ケルベロス (認証方式の名称)	10
13	GMPLS	1 の「MPLS」の改良形	10
14	vCard	名刺アプリケーション	8

出典：法政大学理工学部ネットワーク応用研究室にて作成

いる、ラベルスイッチング方式を用いたパケット転送技術のことであり、フレームやパケットの前方にラベルと呼ばれる識別子を付加して転送を行うことにより、通信の高速化や機能の付加を図る技術である。現在インターネットで主流となっている、ルータを用いたパケットリレー式のデータ転送を、より高速・大容量化する技術である。

4 個別の要素技術に関する分析

(1) OSI に関する分析

各 RCF 文書に対して用語の出現頻度を計測し、インターネット分野の具体的な技術の動向が明らかになるかどうかの検証をおこなった。OSI (Open Systems Interconnection: 開放型システム間相互接続) とは国際的に定められた通信規約の標準の体系を意味する用語である。OSI の取り組みは 1977 年に ISO で開始され、参照モデルが国際規格になったのは 1984 年 (ISO 7498-1984) である。OSI では、すべてのネットワーク機器に採用されることを目標として開発が進められたため、一時期は、相互接続ネットワークの protocols として勢力を広げていた TCP/IP と競合する関係にあった。RFC のなかに、OSI に関する議論の過程を見て取れる。

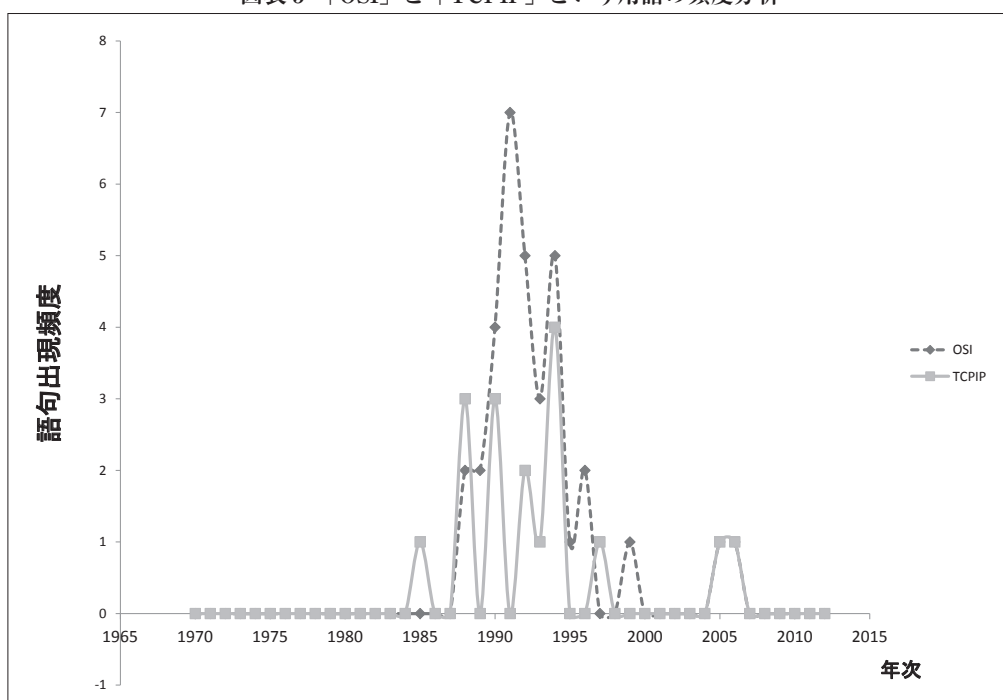
図表 3 は、技術文書中に出現する「OSI」という

用語と「TCPIP」という用語の比較を行っている。「OSI」が通信規約の体系であるのに対して、TCP と IP はそれぞれ個別の通信規約の名称である。そこで、「TCPIP」という形で二語を連続させた語句は、OSI に対して「TCP と IP を核とする通信規約の体系」を意味している。なお、「TCPIP」は、一般的な表記である「TCP/IP」という通常表記から「/」を除いて統計処理を施した。

図表 3 から、「OSI」と「TCPIP」を文書中に含む RFC の数が 80 年代の後半から上昇し、90 年代前半にともにピークを向かえ、2000 年ごろには、落ち着いている。このことから、80 年代後半から 90 年代にかけて、これらの 2 つ通信規約の体系についての検討が盛んに行われてきたことがわかる。結果的には、OSI は国際標準として広く普及するには至っておらず、1980 年ごろ RFC に採択された TCP/IP の体系が、インターネットの標準プロトコルとして広く普及し、実質的な業界標準となっている。

ISO が国際ネットワークの protocols を目指し、各国の正式な代表が集まって協議するのに対し、IETF は国際ボランティア団体でインターネット技術者のルーズ集団である。技術標準化の特徴も ISO がトップダウンに対し、IETF はボトムアップに規格が決められる。つまり ISO が国やメーカーの意見を重要視している一方で、IETF は実際に作っている技術者サイドが中心になっている。利便性や機能性を求めると、技術者サイドの規格に合わせた方が、効率が良くなる。これらの事柄が、

図表 3 「OSI」と「TCPIP」という用語の頻度分析



出典：法政大学理工学部ネットワーク応用研究室にて作成

業界標準が OSI から TCP/IP へ移行した理由である。OSI を世界標準の通信規約として成立させようという努力が、このような結果になった点に関しては、すでに多くの論考が存在する。かいつまんで述べれば、OSI の開発に時間がかかりすぎたことや、できあがった仕様が複雑であったことなどが原因にある。ISO には世界中の標準化組織がメンバーとして参加しており、そのメンバー全員の同意を得るには、OSI の完璧な仕様を作成しなければならないうえに、(各メーカーや団体間の) 政治的なかけひきや利害関係なども絡み合い、その作業には多くの時間が必要であったからである。TCP/IP は、標準化作業によって上から制定された OSI 参照モデルに対して、デファクト・スタンダード(事実上の標準)であると言える。

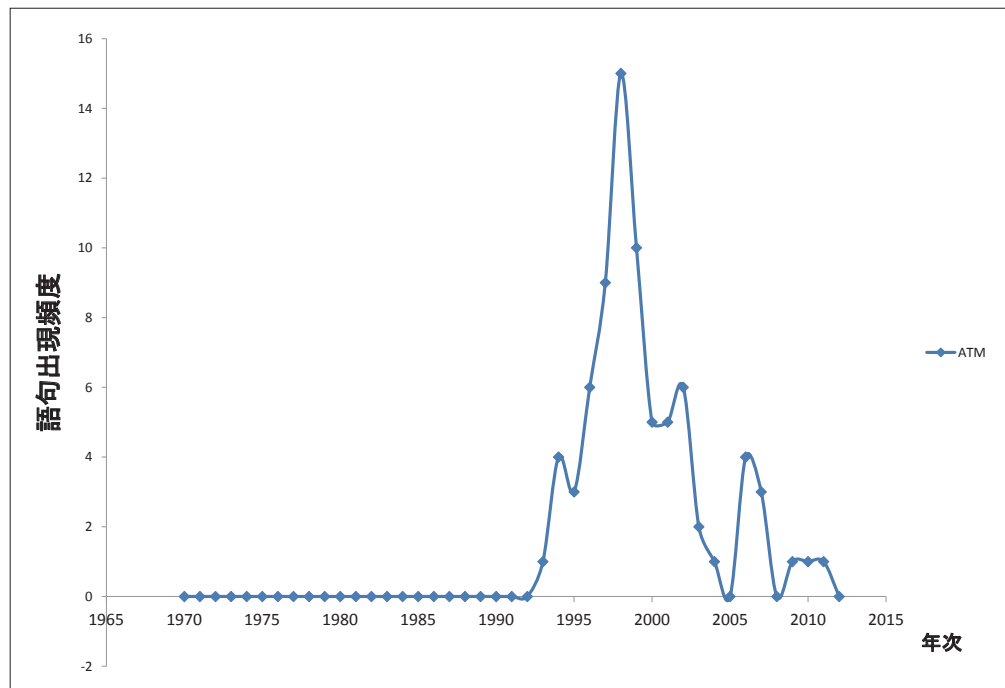
(2) ATM に関する分析

次に、パケット交換方式として 90 年代前半に盛んに検討された ATM 方式 (Asynchronous Transmission Mode: 非同期伝送方式) は、その後のやってくるマルチメディア通信を実現するため

の要の技術ということで期待された通信方式である。

インターネット上の通信を支える交換機器は、呼び方は様々であるが、大別すると、通信網の基幹を成す大規模なバックボーンルータとその周辺のエッジルータという 2 種類に分類できる⁷⁾。ATM 方式は、エッジルータの技術としては普及しなかったが、バックボーンルータの技術としては普及している。図表 4 を見ると、「ATM」という用語は、90 年代初頭から 10 年間の間に議論の対象となった。92 年にインターネット商用接続が開始され、同時期に WWW の利用が始まった。そのため、急速にインターネットを利用する通信量が拡大した。その過程で、バックボーンルータの技術革新は重要であり、90 年代から 2000 年代初頭のピークは、そうした状況を反映した検討の跡であると考えられる。バックボーンルータは、大規模な通信網設備を運営する通信キャリアなどに特化した技術分野であるため、2000 年代の初頭以降は、IETF への参加メンバーが議論する RFC の対象から外れていったと考えられる。

図表 4 「ATM」という用語の頻度分析



出典：法政大学理工学部ネットワーク応用研究室にて作成

5 まとめと提言

5-1 分析のまとめ

通信規約の技術者・研究者の間では、本稿で取り

上げた、「OSI」と「ATM」は、ある種のイノベーションでありながら様々な要因によって登場以後成長しなかった要素技術、と位置づけられている。本稿では、これらの要素技術を取り上げて、関連する RFC の採択数という基本的なデータをもとに検証を試みた。これらの要素技術は一定の期間後に、インターネット技術者のコミュニティにおける興味が

失われていることは明確である。その理由にまで立ち入ると、個別の要素技術には独自の背景が様々な存在しており、単純に文書数だけで議論することは危険である。しかし、本稿で説明した語彙の頻度分析に基づく計量書誌学的手法が、イノベーションのダイナミクスに対する第1次の近接を与えてくれることには異論がないだろう。

5-2 科学技術政策上の提言

科学技術政策における技術動向の調査には、特許

や論文に加えてRFCのような技術文書が有効な指標を与えると考えられることから、今回の定量的な分析結果をもとに、より詳細な検討が必要である。そして得られた結果は、専門家が技術動向を検討する際の有用な情報となる。

また、「R」などオープンソースの統計解析ソフトウェアが普及し、計量分析のためのツールが充実しており、Twitterなどのソーシャルネットワーク上での人々の言動を解析することも可能になっていることから、本稿で述べたような分析手法とその結果は、科学技術予測など技術動向の検討に際して、有効であると考えられえ。

参考文献

- 1) RFC データベース : <http://tools.ietf.org/rfc/>
- 2) 山田英夫 (1997) デファクトスタンダード, 日本経済新聞社
- 3) 児玉文雄編, 「技術潮流の変化を読む」日経 BP 社, 2008 年
- 4) L. ライデスドルフ, 「科学計量学の挑戦」玉川大学出版部, 2001 年
- 5) Janet Abbate, "Inventing the Internet", MIT Press, 1999
- 6) J. M. Utterback, Mastering the Dynamics of Innovation, HBS Press, 1994
- 7) 藤井章博, 「インターネットルータの技術動向」, 科学技術動向 2003 年 12 月号

用語集

ATM : Asynchronous Transfer Mode 非同期伝送方式、高速に大量の通信を行うための一方式。

IETF : Internet Engineering Task Force インターネット技術の標準化を推進する任意団体

ISO : International Organization for Standardization 国際標準化機構

MPLS : Multi Protocol Label Switching ルータによるパケット転送処理の高速化を実現する技術

OSI : Open Systems Interconnection 開放型システム間相互接続、ISO が定めた通信規約の体系

R : 統計処理用プログラミング言語

TCP / IP : IETF が RFC によって定めた TCP と IP を核とする通信規約の体系

執筆者プロフィール



藤井 章博

法政大学理工学部応用情報工学科 准教授

工学博士。分散コンピューティングと通信プロトコルの研究に従事した後、電子商取引システムの構築プロジェクトを実施。現在、情報通信技術のイノベーションが経営や政策に与える影響に興味を持つ。

新しい局面を迎えたオープンアクセスと日本のオープンアクセス義務化に向けて

林 和弘

概要

公的資金を得た研究成果に誰でもアクセスできるようにするオープンアクセス（OA）は、電子ジャーナルの進展と共に広がりを見せ、その存在感を増してきた。

OA は学術ジャーナルの寡占と価格高騰問題から生まれたとも言えるが、現在はオープンサイエンスなどオープンイノベーションを生み出す新しい研究開発環境の構築や研究開発投資の費用対効果を上げるために重要な要素と考えられている。こうした背景から、研究成果の OA 義務化の動きが近年世界レベルで加速し、多くの国や研究機関において義務化ポリシーが策定されている。

一方、OA と親和性が高く科学の発展が期待される分野だけではなく、知財や国益などの観点から OA が馴染まない分野や事情も存在する。政策面から一律の OA 化を短絡的に行うことは慎重を要し、研究者と研究者コミュニティの理解と協働が求められる。当面は科学技術振興機構（JST）で始まった研究助成対象に関する OA 義務化を論文から進め、日本学術会議や日本学術振興会等を軸とした研究者による議論を深めることで、日本の事情と時機に合った OA 化を推進し、新しい情報流通形態に基づく研究基盤の構築を促す必要がある。

キーワード：オープンアクセス、電子ジャーナル、オープンイノベーション、学術情報流通、義務化ポリシー

1 学術電子ジャーナル論文から始まったオープンアクセスの浸透

1-1 オープンアクセス（OA）の始まり、目的と手段

公的資金を得た研究成果についてその成果に誰でもアクセスできるようにし、科学技術・学術研究の発展を促すオープンアクセス（Open Access 以下「OA」とする）は電子ジャーナル化と共に学術ジャーナルの論文に対して始まった^{1, 2)}。その背景には学術ジャーナルの寡占と価格高騰³⁾に端を発する図書館と商業出版者との対立があったが、この OA に関する政策が新しい局面を迎えている。

OA は 1991 年に立ち上がった物理系のプレプリントサーバーとして始まった LANL preprint

archive（現 arXive）や、1994 年の Harnad によるセルフアーカイブの提唱などを端緒とし^{4, 5)}、2002 年の OAI（ブダペスト宣言）を経て、その理念自体は早くから提唱されていた。同宣言の第一段落では「文献へのアクセス障壁を取り除くことで研究が加速し、教育の質が高まり、富んだ者と貧しい者の間で互いに学習を共有し、文献を最大限活用し、人類を共通の知的な対話と知識探究の場へ結びつける基礎を築くだろう」と表記されており、Karl R. Popper の提唱した「開かれた社会」概念を思想的根拠とした、Open Society Initiative が持つ哲学的背景が存在しているとされる⁶⁾。そして、米国では 2005 年頃から米国国立衛生研究所（NIH）⁷⁾、英国では、Wellcome Trust 財団や英国研究評議会（Research Councils UK）が研究助成対象に対する論文の OA 義務化を段階的に主導してきた。

図表1 OAを実現する手段

OA化の手段	
• Green Route OAジャーナル	
– 原則著者の最終版原稿を利用(Alternative Access)	
• セルフアーカイブ(Self Archiving)	
• 大学機関レポジトリ掲載 (IR)	
• 政府系レポジトリ掲載 (Pub Med Central)	
– 購読費モデルジャーナルへのアクセスの別ルートを提供	
• Golden Route OA ジャーナル	
– ジャーナル自身のOA化(Full Open Access)	
• 掲載料モデル(著者支払いモデル) \$500-\$5000	
• 寄付モデル、機関運営費モデル	
– 新刊ジャーナルに多い(PLoS, Bio Med Central, Hindawi, Springer Open)	
• 部分的OA化	
– 購読費ジャーナルにOAオプションを付加し、論文毎にOA化	
– 既存のジャーナルの多くが提供	
• 期間(エンバゴ)の有無が組み合わさることがある	
– Delayed OA	

OAによる情報伝達の目的としては、研究情報への公平なアクセスを保証し研究者に広く知らせ、研究の発展を促すためのOAと、公的資金に対する社会説明責任を果たすことを目的とした公衆のためのOAという2つの意味合いがある。後者のOAは特にパブリックアクセスと呼ばれる。論文のOAを実現する手段については図表1に示す通り、出版費用を著者側が支払って無料で公開するか、出版後一定期間を置いて出版の元原稿(著者最終版)を機関レポジトリ等に掲載するかの方法が主である。

1-2 OA出版の増大と変わる学術情報流通

原理上購読費が得られないOA出版活動に関して、当初は静観ないしは反対の立場を取っている

た大手学術出版者も近年になって積極的にOA誌を創刊する動きを見せている⁸⁾。新刊ジャーナルの多くはOAジャーナルであるという報告もある中⁹⁾、OA化に対して最保守と言われた米国化学会も2014年にOA誌を創刊する時代になった¹⁰⁾。オープンアクセスジャーナルのディレクトリであるDOAJ(Directory of Open Access Journals)に収録されているOAジャーナルが2013年末には10,000タイトルを超え¹¹⁾、図表2に例示するように、OAジャーナルタイトルとOA論文数の伸びが加速している¹²⁾。OA義務化を先導したNIHでは、OA方針運用の厳格化によりNIHが用意したOAプラットフォームであるPubMedCentralへの論文の掲載が急増し、助成対象の研究成果のOA遵守率が80%程度と推定する記事もある¹³⁾。欧州委員会(European Commission, EC)のレポートでは現在すでに世の中の学術論文の50%に無料でアクセスできているとし、OAは「転換点(Tipping Point)を迎えた」としている¹⁴⁾。

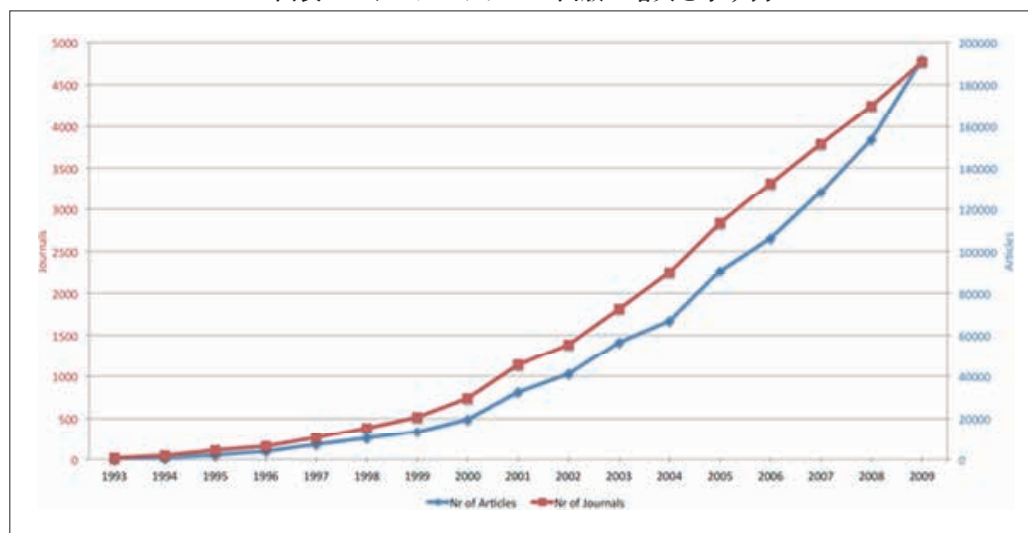
2 オープンアクセスの可能性に基づく義務化政策の加速

2-1 OAがもたらす新たな可能性と便益

現在各国や様々な機関がOA化政策を進める主要な理由の1つとしては、単なる学術ジャーナル購読問題解決や、社会への説明責任を果たすことだけでなく、webを基盤とした新しい研究開発基盤、あるいは知識の共有基盤の構築を意識している

ことが挙げられる¹⁵⁾。特に、情報やデータの再利用の観点からOA化は重要なポイントである。例えば、Creative Commonsの浸透により論文やデータの再利用に関する著作権者の意思表示が簡単になり、多くのOAジャーナルでは、引用など一定条件下のもとに出版者へ許諾手続きを取

図表2 オープンアクセス出版の増大を示す例



出典: <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0020961>

らずに論文を再利用することを許可している¹⁶⁾。API (Application Programming Interface) の進展などより、人を介さずに M to M (Machine to Machine) で論文など研究情報のやりとりを迅速に行うことも可能になった。さまざまな情報やデータセットを組み合わせて新しい価値を生み出す手法はマッシュアップと呼ばれ¹⁷⁾、近年注目を浴びているデータ科学で良く用いられる手法である。OA 化を前提とした web はこれまでにない規模の知識共有基盤となり、オープンイノベーションを促す。このように web 上で情報を共有することを前提とした研究や、時には大勢で協力して科学の問題を解決する手法はオープンサイエンスと呼ばれ、タンパク質の折りたたみ構造を大勢で解決するなど、すでに数十万人規模の参加による革新的な科学事例も複数生まれている¹⁸⁾。さらにオープンサイエンスを前提としたプラットフォームやジャーナルもすでに立ち上がっている^{19,20)}

また、研究の投資対効果や産業創出の面を強調して OA を進める動きもより前面に出てきている。EC の資料によると²¹⁾、OA の潜在的な便益として、

- 研究を加速し成果を見つけやすくすることで研究開発投資の費用対効果を上げる
- 同じ研究を繰り返すこと避け、研究開発コスト

図表 3 OA 義務化ポリシー数

	実施	計画中
助成機関	85	12
研究機関	248	15
学位	108	-
合計	441	27

*2014年1月現在

出典：http://roarmap.eprints.org/

を抑える

- 境界領域や多領域にまたがる研究の機会を増やし、多分野の協調を促す
- 研究結果の商業化を早く広い観点から行い、公共研究開発投資の効果を上げ、科学情報を基にした新しい産業を生み出す

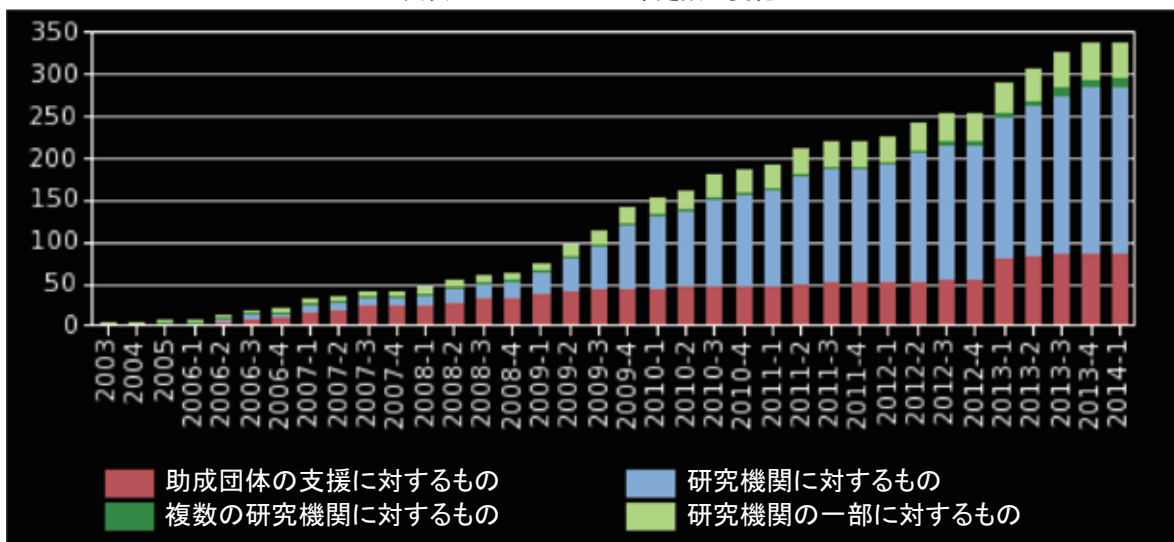
の4点が挙げられている。

このうち、研究開発投資の費用対効果の計測のためには、助成団体の評価者が助成した研究の成果に自由にアクセスしその研究評価を必要に応じて都度行うことが必要になる。最近になって個々の論文など、研究情報がどれだけ研究者や社会にインパクトを与えたかを公平に、また、即時的に計量して比較する試みが進んでいる。特にソーシャルメディアの反応やブックマークサイトや文献管理ツールにおける登録状況を中心として用いる研究成果のインパクトの計量手法は altmetrics と呼ばれ、OA との親和性が高い²²⁾。

2-2 世界レベルで加速する OA 義務化と欧米の最近の主な動き

以上の背景も踏まえ、OA 義務化の動きは現在世界レベルで加速している。OA 義務化の状況を公開するリポジトリである ROARMAP (Registry of Open Access Repositories Mandatory Archiving Policies)²³⁾ によると、2014年1月現在、49カ国において OA 義務化のポリシーが策定されており、そのポリシー数は400を越える。研究助成団体の義務化ポリシーも計画を合わせると100近くに達する。(図表3、4)

図表 4 OA ポリシー策定数の変化



出典：http://roarmap.eprints.org/

最近の英米の政策でも、英国ではフィンチ・レポートに基づき公的資金による研究成果の Gold OA への移行を進め、補助金支出を決定した。米国では連邦政府助成研究の OA 義務化法案 FASTR が提出され、ホワイトハウスも連邦政府の諸機関に OA 方針策定の指令を出すなど、OA 義務化の動きが高まっている²⁴⁾。その後 2013 年 9 月に、米航空宇宙局 (NASA)、国立科学財団 (NSF)、国立標準技術研究所 (NIST)、国立気象局 (NWS) の助成に対する OA (パブリックアクセス) 義務づける法案 (the Public Access to Public Science (PAPS) Act) が提出された²⁵⁾。

また、EC では 2013 年 12 月に欧州研究・イノベーションプログラム Horizon2020 を発表し、研究成果の OA をデフォルトに規定し、その後、公的助成研究データ公開プログラム "Pilot on Open Research Data" を開始することを発表した²⁶⁾。オープンアクセスのガイドラインも公開している²⁷⁾。

2-3 広がる OA 義務化の対象

オープンサイエンス時代の研究開発基盤の構築を念頭に、先に紹介した政策のほとんどにおいて OA 義務化の対象は単に論文に留まらずに、研究データを中心とするあらゆる研究成果に関して拡張されている。特に論文を執筆する根拠となる研究データの関心が高く、G8 科学大臣およびアカデミー会長会合にて査読付き論文に加えて研究データのオープン化も盛りこんだ共同声明文が発表されている²⁸⁾。

ただし、論文以外の研究成果の公開については、一部の研究領域の研究データについてデファクトスタンダードに基づくサービスが存在している状況であり、分野を問わない一定の仕様や方式のコンセンサスがまだ得られていない分野が多い。論文では早くから確立した DOI のような識別子の運用や図書館などを基点とした情報資源の管理と運用²⁹⁾ もまだ整っておらず、figshare³⁰⁾ のような研究データ公開用のプラットフォームが立ち上がってはいるが、持続性のある情報公開の仕組みや事業モデルが確立しているとは言いがたい。データのオープン化については、研究データの保存と共有の在り方が検討されている³¹⁾ 現段階では詳しくは

述べないが、例えば地球科学を中心とした取り組み^{32,33)} が今後の 1 つの参考になり、また、オープンガバメントの流れから進められている公共データ公開の議論と技術面、制度面の両面において融合する可能性もありうる³⁴⁾。

3 日本における OA 義務化を進めるポイント

3-1 日本の OA 推進施策に関する状況

日本においても OA 化について検討は重ねられてきている³⁵⁾。まず、第 4 期科学技術基本計画、科学技術・学術審議会学術分科会などの報告書において研究成果の OA を推進すべきと明記されている^{36,37)}。また、国立大学図書館協会からオープンアクセスに関する声明が出されてもいる³⁸⁾。理念としての OA 推進については方針を明確にしており、研究者に対して実効性のある方策を打ち出す段階にある^{注)}。

3-2 研究者の現状と研究分野、コミュニティなどによる差の存在

日本の研究者は個々の意識に基づく活動^{39,40)} を除いて、全体的にはまだ OA に関して強く意識しているとは言えない。そのような中、日本学術会議科学者委員会学術誌問題検討分科会では、日本の学術誌の強化に関連して、世界の OA の動きとその対応について様々な分野の代表である会員が議論した。ここで行われた研究者による OA に関する重要な論点は、すべての分野、研究者が一律な OA 化で便益を得るわけではなく、不利益を被るケース、研究者、国民双方にメリットがあまり無いケースもあることである。例えば生命科学系の研究においてはオープンイノベーションと知財戦略の相克が起きやすく、研究者によって研究成果の積極的な公開に対してスタンスが分かれる⁴¹⁾。素粒子物理では、ジャーナルに投稿すると同時にプレプリントサーバー (arXiv) にその原稿を公開する文化がすでに存在するために、OA 化す

注 日本から発信する学術情報の OA 化推進については科学研究費助成事業 (科研費) の研究成果公開促進費国際情報発信強化によるサポート (http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/13_seika/index.html) がある。

ることによるメリットが比較的薄くなる。その他理学系の産業に直結しない分野や、比較的少人数のコミュニティで形成される人文社会系においても、人命に直結しやすい医療情報と比較すると、そのコミュニティ外への専門的情報公開のメリットが薄くなる場合がある。実際英国の調査では分野によってOA化の度合いが違ってくる⁴²⁾。年齢や研究経験の長さによってOAに対する意識が変わるという報告もある⁴³⁾。先導的な国のOA施策を参考にしつつも、分野を問わず一律に義務化を進めることによるリスクがあることも認識し、研究者を含む関係者でその国の事情に応じた施策を講ずる必要がある。

4 提言— 日本型のOA義務化に向けて

行政機関、研究助成団体は引き続きOAに対する理解とOAがもたらす可能性を認識した上で、OAと親和性のある分野、領域、OAが馴染まない分野、領域を研究者と共に能動的に把握することが求められる。その際、当然ながらオープンサイエンス、オープンイノベーションに向けた将来の科学技術・学術情報流通や研究開発基盤づくりに役立てることを前提とする。

次に、OA義務化を政策決定する際には研究者の理解と協力が欠かせないため、日本学術会議、科学技術・学術審議会研究費部会、日本学術振興会等を中心に、研究者が分野や領域ごとにOAについて認識、議論を行い、必要性和時機をみてOA義務化をリードすることが求められる。科研費に関してはこれまでのところ、研究成果のOA義務化に関する大きな動きは見られないが、科学技術振興機構(JST)では検討を続けており、2013年4月には「オープンアクセスに関するJSTの方針」と題したOA推奨を告知し、研究データに関するOA化についての姿勢も示している^{21,44)}。文部科学省においては2013年(平成25年)に学位規則を改正し、2013年4月以降の博士論文のOA化を原則義務づけた⁴⁵⁾。こうした先行事例を元に、研究成果のOA義務化を研究者の理解を得ながら進めることが現実的と思われる。その際、まずは研究論文を当初の義務化の対象にしつつ、研究データを含む研究成果のOA化とその波及効果についても新しい研究開発パラダイムやオープンサイエンスの実現を意識しつつ検討を行う必要がある。2014年になって米国情報標準化機構(NISO)

のサイトで研究成果がどれだけオープンであるかを記述するメタデータと表示の仕様案を公開した⁴⁶⁾。このような標準化の動きにも注目を要する。

5 おわりに

日本学術会議では2014年3月13日に「世界のオープンアクセス政策と日本：研究と学術コミュニケーションへの影響」と題する学術フォーラムを開催することになり、日本学術会議に加え、文部科学省研究振興局、日本学術振興会、科学技術振興機構のトップクラスからの登壇も予定されている。このフォーラムをきっかけとして日本の適切なOA化が進むことを期待したい。

また、公的助成に対するOA義務化について、オープンイノベーションを生み出す新しい研究開発パラダイムの可能性を根拠に科学技術外交としてみると、健全な科学の発展を促しつつ、競争関係にある各国の研究成果の量や質を適切に把握し正しく比較するためには、研究成果の透明化をお互いに働きかける必要があり、そのためにOA化を進めているという側面も持っている。この点については、論考に耐え引用できうる情報を得ることが難しいが、無視できない点であることを敢えて付記する。

謝辞 本稿執筆にあたり、日本学術会議科学者委員会学術誌問題検討分科会の委員、特に、植田憲一氏、谷藤幹子氏、永井裕子氏、オープンサイエンスについてはNature Publishing Groupの宮入暢子氏、科学技術振興機構のOA義務化の現状とその背景に関して情報企画部の方々、特に恒松直幸氏とのディスカッションを参考にしており、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 倉田敬子. 学術情報流通とオープンアクセス. 勁草書房. 2007.
- 2) 文部科学省科学技術政策研究所. 電子ジャーナル化と科学コミュニティの変化. 文部科学時報. 2010 (9) : http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/jihou/detail/_icsFiles/afiedfile/2010/09/13/1296680_2_1.pdf
- 3) 古西 真. 研究基盤としての電子ジャーナル—電子ジャーナルへのアクセスの維持を目指して—. 科学技術動向. 2011, 119, p. 20-27 : <http://hdl.handle.net/11035/2217>
- 4) 時実象一. オープンアクセスの動向. 情報管理. 2004, Vol.47, No.9, p.616-624.
- 5) 尾城孝一. オープンアクセス序論: 概況報告. シンポジウム「大学からの研究成果オープンアクセス化方針を考える」2013 : <http://www.nii.ac.jp/sparc/event/2010/20101210.html>
- 6) 岡部晋典, 佐藤翔, 逸村裕. Budapest Open Access Initiative の思想的背景とその受容. 情報知識学会誌. 2011, 21, p. 333-349
- 7) 遠藤 悟. 「海外におけるオープンアクセス化に関する政策論議の展開 (米国を中心に)」. シンポジウム「大学からの研究成果オープンアクセス化方針を考える」2013 : <http://www.nii.ac.jp/sparc/event/2010/20101210.html>
- 8) 代表的な論文誌出版者からの相次ぐオープンアクセス誌創刊. 科学技術動向. 2011, 125, p. 10.
- 9) 横井慶子. 学術雑誌出版状況から見るオープンアクセスジャーナルの進展. Library and Information Science. 2013, 70, p. 143-175.
- 10) <http://www.acs.org/content/acs/en/pressroom/newsreleases/2013/october/acs-extends-new-open-access-program-designed-to-assist-authors.html>
- 11) DOAJ offers 10,000 open access journals from 124 countries in 51 languages : <http://marielebert.wordpress.com/2013/12/11/doaj/>
- 12) Laakso M, Welling P, Bukvova H, Nyman L, et al., The Development of Open Access Journal Publishing from 1993 to 2009. PLoS ONE. 2011, 6 (6) : e20961. doi : 10.1371/journal.pone.0020961 : <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0020961>
- 13) NIH sees surge in open-access manuscripts : <http://blogs.nature.com/news/2013/07/nih-sees-surge-in-open-access-manuscripts.html>
- 14) Open access to research publications reaching 'tipping point' : http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-786_en.htm
- 15) Waldrop, M. Science 2.0. Scientific American. 2008, 298, p. 68-73.
- 16) 林 和弘, 桑原 真. クリエイティブ・コモンズとは何か—オープンアクセス時代の著作権と科学者. 日本物理学会誌. 2014, 2, p. 102-105.
- 17) 藤井章博. 広がる Web API の活用—マッシュアップの幅広い可能性—. 科学技術動向. 2010, 106, p. 9-18 : <http://hdl.handle.net/11035/2110>
- 18) マイケルニールセン. オープンサイエンス革命. 紀伊國屋書店. 2013.
- 19) Science Open : <https://www.scienceopen.com/>
- 20) F1000Research : <http://f1000research.com/>
- 21) Fact sheet: Open Access in Horizon 2020 : https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/FactSheet_Open_Access.pdf
- 22) 林 和弘. 研究論文の影響度を測定する新しい動き—論文単位で即時かつ多面的な測定を可能とする Altmetrics. 科学技術動向. 2013, 134, p. 20-29 : <http://hdl.handle.net/11035/2357>
- 23) <http://roarmap.eprints.org/>
- 24) 栗山正光. オープンアクセス政策の動向: 欧米と日本の比較. 日本図書館情報学会春季研究大会. 2013 : http://www.tokiwa.ac.jp/~mtkuri/presentations/jslis2013s_kuriyama.pdf
- 25) <http://current.ndl.go.jp/node/24429>
- 26) Commission launches pilot to open up publicly funded research data : http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-1257_en.htm
- 27) Guidelines on Open Access to Scientific Publications and Research Data in Horizon 2020 ver.1.0 : http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/grants_manual/hi/oa_pilot/h2020-hi-oa-pilot-guide_en.pdf
- 28) 日本の科学情報基盤のあり方および JST 情報事業の今後の方向性 (資料 3) 科学技術・学術審議会学術分科会学術情報委員会 (第 4 回) 平成 25 年 7 月 24 日 (水) : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/031/shiryo/_icsFiles/afiedfile/2013/07/29/1338254_03.pdf

- 29) 林 和弘. 理工医学系電子ジャーナルの動向—研究情報収集環境と事業の変革. 科学技術動向. 2007, 71, p. 17-29 : <http://hdl.handle.net/11035/1815>
- 30) <http://figshare.com/>
- 31) 10 Simple Rules for the Care and Feeding of Scientific Data : https://www.authorea.com/users/3/articles/3410/_show_article
- 32) 村山泰啓. 科学データ・マネジメントと新たなデータ共有・利用. 学術の動向. 2013, 18, p. 61-63 : http://dx.doi.org/10.5363/tits.18.9_61
- 33) 村山泰啓. 科学データ・科学知のオープン化と地球環境研究. 村山泰啓. 科学データ・科学知のオープン化と地球環境研究. SEEDer : 地域環境情報から考える地球の未来. 2014, 10 in press 昭和堂.
- 34) 学術情報サービスとオープンデータ—世界の潮流について・実践に必要なこと— : <http://2013.libraryfair.jp/node/1968>
- 35) Syun Tutiya, The Current Status of Open Access in Japan : <http://www.slideshare.net/tutiya/jst-presentation-grcrm2013tutiya11151300r>
- 36) 科学技術基本計画 : 平成 23 年 8 月 19 日閣議決定 : http://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/detail/_icsFiles/fieldfile/2011/08/19/1293746_02.pdf
- 37) 学術情報の国際発信・流通力強化に向けた基盤整備の充実について【概要】 : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/toushin/attach/1323861.htm
- 38) オープンアクセスに関する声明～新しい学術情報流通を目指して～平成 21 年 3 月 16 日国立大学図書館協会 : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/toushin/attach/1283016.htm
- 39) 轟 眞市. 研究者の立場からオープンアクセスをどう捉えるか. NISTEP 所内講演会「論文のオープンアクセスの動向」2010 年 : <http://pubman.nims.go.jp/pubman/item/escidoc:468625:3>
- 40) 柄内 新. 研究者から見たオープンアクセス. Open Access Week (第 5 回 SPARC Japan セミナー 2009)「オープンアクセスのビジネスモデルと研究者の実際」. 2009 : <http://www.nii.ac.jp/sparc/event/2009/20091020.html>
- 41) 坊農秀雅. 生命科学分野の大規模データ利用技術開発の現状と今後の展開. 第 3 回 SPARC Japan セミナー 2013「オープンアクセス時代の研究成果のインパクトを再定義する : 再利用と Altmetrics の現在」 : <http://www.nii.ac.jp/sparc/event/2013/20131025.html>
- 42) 倉田敬子. Open Access はどこまで進んだのか (2) オープンアクセスはいかに実現されてきたのか. Spar Japan News Letter. 2012. No. 14. P. 5-8 : <http://www.nii.ac.jp/sparc/publications/newsletter/pdfper/14/sj-NewsLetter-14-3.pdf>
- 43) Generation Gap in Authors' Open Access Views and Experience, Reveals Wiley Survey : <http://www.wiley.com/WileyCDA/PressRelease/pressReleaseId-109650.html>
- 44) オープンアクセスに関する JST の方針 : http://www.jst.go.jp/pr/intro/pdf/policy_openaccess.pdf
- 45) 学位規則の一部を改正する省令の施行について : http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/daigakuin/detail/1331790.htm
- 46) <http://aims.fao.org/community/blogs/niso-releases-draft-open-access-metadata-and-indicators>

..... 執筆者プロフィール



林 和弘

科学技術動向研究センター 上席研究官

専門は学術情報流通。1990 年代後半より日本化学会英文誌の電子化と事業化に取り組み、オープンアクセスにも対応した。電子ジャーナルから発展する研究者コミュニケーションの将来と、学会、図書館、大学の変革に興味を持つ。

2013年の世界の宇宙開発動向

辻野 照久

概要

2013年は全世界で合計81回のロケット打ち上げがあり、通信放送衛星、地球観測衛星、航行測位衛星、宇宙科学衛星（月惑星探査機を含む）、有人宇宙船など32カ国3機関より計208機の衛星が軌道に投入された。2013年には、韓国初の独自ロケットの打ち上げ成功、日本と中国それぞれの新型全段固体燃料ロケットの打ち上げ成功、欧州の新型通信衛星の開発、インドの火星探査機及び航行測位衛星、中国の月着陸機及び月ローバ、米国や新興国の大量の超小型衛星、米国の新たな物資輸送船の登場などの新しい動きがあった。

衛星打ち上げは全般的に順調に行われ、国際宇宙ステーション（ISS）の運用もほぼ計画通り進められた。

ISSに参加していない中国は、2020年頃までに独自の宇宙ステーションの構築を計画しており、2013年は有人宇宙船「神舟10号」と軌道上のドッキングターゲット「天宮1号」とのドッキングを成功させ、有人飛行実績を着実に積み重ねた。2014年も宇宙開発利用に参加する国が増加していくと見込まれる。

キーワード： 実用衛星、火星探査機、月着陸機、国際宇宙ステーション、打上げロケット

1 はじめに

世界の宇宙開発活動は日進月歩で発展しており、毎年のように大きな変化がみられる。2013年の打上げロケットの新たな動きとしては、日本・韓国・米国・中国から新型打上げロケットが登場し、多様性の幅が広がった。ロシアは主力ロケットの打上げ失敗があったが、これまでと同様に再開も早く、2013年末までに90%近い打上げ成功率を回復させた。衛星^{注1} 打ち上げは全般的に順調に行われ、国際宇宙ステーション¹⁾ (International Space Station: ISS) の運用もほぼ計画通り進められた。

宇宙科学の分野では、インドの火星探査機や中国の月着陸機など欧米からも注目を集める探査機の

軌道投入が行われた。有人宇宙飛行分野では、米国企業がISSへの新たな物資輸送船の打上げおよびドッキングに成功した。

一方で新たな衛星保有国が6カ国増え、中には最初から本格的な実用衛星を運用する段階に一気に到達した国もある。このような世界の宇宙開発利用動向の情報を整理し、今後の方向性を分析する。

2 2013年の各国の宇宙開発活動の概況

2013年は全世界で合計81回のロケット打ち上げがあり、32カ国3機関より計208機の衛星が打ち上げられた。打上げロケット分野での新たな動きと

注1 「衛星」には通信放送衛星・地球観測衛星・航行測位衛星・宇宙科学衛星・技術試験衛星・有人宇宙船などの種類が含まれる。宇宙飛行物体が衛星と認定される条件は、地球を2周回することである。

しては、日本・韓国・米国・中国から新型の打上げロケットが登場したことがあげられる。米国企業のスペース X社は初の静止衛星打上げにも成功し、2014年以降米国航空宇宙局（NASA）の商業軌道輸送サービス（Commercial Orbital Transportation Services：COTS）輸送を年3-4回行うほかに静止衛星も数機打ち上げるなど、1社だけで中国の年間打上げ数に匹敵する大量の商業打上げが見込まれている。

通信放送分野では、欧州の2大衛星メーカーが共同で開発した新型衛星バスを適用した大型通信衛星が打ち上げられた。また、赤道上空を16機編隊で飛行し、赤道周辺の発展途上国にブロードバンドのインターネット接続サービスを提供する斬新な衛星通信システムの第1陣として4機が打ち上げられた。地球観測分野では中国が大幅に運用数を増やしたほか、ベトナム・韓国・アラブ首長国連邦などで国際協力による地球観測衛星が打ち上げられた。航行測位分野ではインドが初の航行測位衛星を打ち上げたことが新たな動きである。宇宙科学の分野では地球近傍宇宙観測衛星・天文観測衛星・月惑星探査機などが打ち上げられた。この他、米国や新興国の超小型衛星が激増し、年間の衛星数が過去最大となる要因となった。

2013年の有人宇宙飛行分野における重要な変化

は、米国企業が国際宇宙ステーション（International Space Station：ISS）への新たな物資輸送船の開発を完了させ、打上げおよびドッキングに成功したことである。これにより、NASAが2社に発注したCOTSの実施体制が整った。

3 打上げロケットの動向

2013年の1年間におけるロケット打上げ回数は81回で、そのうち77回はロケットの打上げおよび衛星の軌道投入に成功した。ロシアが33回（うち2回打上げ失敗、1回軌道投入失敗）、米国が19回、中国が15回（うち1回打上げ失敗）、欧州が7回、インドが3回、日本が3回、韓国が1回であった。各国の機種別のロケット打上げ回数を図表1に示す。2012年と対比すると、全世界で8回の増加となっている。

ロシアは7月に「プロトンロケット」の打上げ失敗²⁾があったが、その後12月までに5回の打上げに連続成功し、従来からの90%近い打上げ成功率を維持している。参考文献2)はプロトンロケットが空中で炎上し、地上に激突するまでの衝撃的な映像である。

図表1 2013年の世界のロケット打上げ回数

打上げ実施国	ロケット種類別打上げ回数 (★＝打上げ失敗、☆＝軌道投入失敗)				打上げ数合計	2012年対比
	プロトン	ソユーズ	ゼニット他*			
ロシア	10(★1)	14	9(★1、☆1)		33	+6
米国	アトラス5 8	デルタ4 3	ファルコン他** 8		19	+6
中国	長征2 7	長征3 3	長征4 4(★1)	快舟 1	15	-4
欧州	アリアン5 4	ソユーズ 2	ヴェガ 1		7	-3
日本	H-IIA 1	H-IIB 1	イプシロン 1		3	+1
インド	PSLV 3				3	+1
韓国	Naro-1 1				1	+1
計					81	+8

* 「ゼニット他」の内訳は、ゼニット2 (★1)、ロケット4 (☆1)、ドニエプル2、ストレラ1

** 「ファルコン他」の内訳は、ファルコン3、アンタレス2、ミノタウル2、ペガサス1

出典：各種資料を基に科学技術動向研究センターにて作成

新型ロケットは6種類登場した。韓国の独自ロケット「ナロ1号 (Naro-1)」³⁾、米国の「アンタレス (Antares)」ロケット⁴⁾と「ミノタウル5」ロケット、日本の小型衛星打上げ用「イプシロン (Epsilon)」ロケット⁵⁾、中国の「快舟 (Kuaizhou : KZ)」ロケット⁶⁾ およびロシアの「ソユーズ 2.1v/Volga」^{注2} ロケットである。「イプシロン」と「快舟」は全段固体燃料ロケットで構成され、短期間に衛星を打ち上げることに開発の重点を置いたことが共通している。米国の「ミノタウル」ロケット (ミニットマン大陸間弾道ミサイルから派生) も、即応打上げ (Operationally Responsible Space : ORS⁷⁾) を目指して3回目の打上げ実験 (ORS-3) を行った。

4 衛星打上げ動向

2013年は衛星が合計208機打ち上げられた。2012年の衛星打上げ数は131機であった⁸⁾が、2013年はそれを70機以上上回った。これまでに年間最多打上げ数を記録した年は1984年の167機であったが、それも大幅に上回った。その要因は、重量1kgから数kgの超小型衛星が米国や新興国で多数制作され、同時に30機以上に及ぶ打上げが米国の企

業間で記録を競うように行われたことである。超小型衛星を除けば通常の衛星数は大差ない。

2013年に打ち上げられた衛星の国別・ミッション別内訳を図表2に示す。実用衛星の他、宇宙科学・有人宇宙活動・その他の衛星も加えて主要国の衛星打上げ数を示した。

4-1 通信放送衛星

通信放送衛星は世界で43機打ち上げられた。テレビ放送の中継や固定局間通信などで各国の衛星通信企業が激しく顧客獲得競争を行っている。また衛星と地上を結ぶデータ中継衛星や研究開発目的の通信衛星などもある。大型通信放送衛星の大部分は欧米の衛星メーカーが製造した量産型の衛星で、従来と大きな違いはない。ここでは2013年に登場した注目すべき新規性を持つ通信衛星事例を紹介する。

(1) 欧州宇宙機関が開発した新型衛星バスを用いた衛星

欧州宇宙機関 (European Space Agency : ESA) と国際移動通信衛星機構 (インマルサット) は新

図表2 2013年の保有国別・目的別の衛星打上げ数

衛星保有国	実用衛星			宇宙科学	有人活動*	その他	計	2012年との対比
	通信放送	地球観測	航行測位					
米 国	13 (6)	5 (1)	1	3	2	65	89 (7)	+59 (+1)
ロシア	11 (2)	2	1	1	8	6	29 (2)	+8 (-2)
中 国	1 (1)	7	0	2	1	6	17 (1)	-9 (-6)
日 本	0	3	0	1	1	0	5	-4 (-1)
欧州諸国	11 (7)	1	0	4	1	20	37 (7)	+13 (-1)
インド	1 (1)	2 (1)	1	1	0	0	5 (2)	+3 (+1)
カナダ	2 (1)	0	0	2	0	0	4 (1)	+2
中南米諸国	2 (2)	0	0	0	0	6	8 (2)	+4
アジア諸国	0	2	0	0	0	6	8	+5 (-2)
その他の国等	2 (2)	1	0	0	0	3	6 (2)	-4 (-5)
計	43 (22)	23 (2)	3	14	13	112	208 (24)	+77 (-15)

() 内は静止衛星数内訳

* 有人活動には有人宇宙船と物資輸送船を含む。

出典：各種資料を基に科学技術動向研究センターにて作成

注2 ソユーズ 2.1v はコア機体の周りにブースタが全くなく、これまでのソユーズロケットとは全く異なる小型ロケットである。今回打ち上げられたソユーズ 2.1v Volga は極軌道投入用に第3段 Volga エンジンを搭載しており、1.4トンのペイロードを打ち上げる能力を有する。ソユーズ 2.1b/Fregat は極軌道に4.9トンの能力を持つ。なお、v はロシア語のアルファベット「А В В」の3番目の В の小文字を英語表記したもの。

型の衛星バス^{注3}「アルファ・バス (Alpha Bus)」を用いた大型移動体通信衛星「アルファサット (Alphasat)」(または Inmarsat- 4A F4)⁹⁾を官民パートナーシップ (Public and Private Partnership: PPP) の枠組みで共同開発し、7月25日にアリアンロケットにより打ち上げた。アルファ・バスはESAの先進的通信システム研究プログラム (ARTES) の重要なサブプログラム (ARTES-8) である。欧州の二大衛星メーカーであるエアバス・グループ社 (旧 EADS アストリウム社)^{注4}とターレス・アレニア・スペース社 (TAS) は、ESAからの発注を受けて共同でアルファ・バスの開発を行った。衛星バスを共通化したうえで最終製品としての商業用通信放送衛星は両社が従来通り世界市場で受注を競うことになる。アルファサットは打上げ時重量が6.65トンもあり、欧州最大の移動体 (航空機・船舶など) 向け通信衛星である。「アルファサット」は航空機や船舶など移動体に搭載された端末との間で高速通信を行うために、開口12mの大型アンテナを備え、高速データ通信サービス用のLバンドトランスポンダを搭載している。Alphasat Overview⁹⁾には軌道投入やアンテナ展開のCGなども含まれている。

(2) 英国の赤道周回型通信衛星

イギリスのO3bネットワークス社¹⁰⁾は赤道上の中軌道 (MEO、高度8,000km) を16機編隊で周回し、ブロードバンドでインターネット中継を行う、「O3b」という商業通信衛星群の第1陣となる4機の衛星を、6月25日に南米のクール射場からアリアンスペース社のソユーズロケットで打ち上げた。2014年にも同じロケットで4機の同時打上げを予定している。8機になれば経度45度間隔で飛行し、赤道付近のどの地点でも連続的に接続できるようになる。「O3b」衛星のサービス可能範囲は静止衛星に比べればいくらか狭いが、赤道を中心に世界の全人口の70%をカバーする範囲のユーザに光ファイバーケーブル並みのブロードバンド接続サービスを提供することができる。「O3b」とは「Other 3 billion」(先進国以外の30億人)を意味する。発展途上国においてこれまでにない便益をもたらす可能性がある。

4-2 地球観測衛星

2013年の世界の地球観測衛星打上げ数は23機であった。地球観測衛星は地球温暖化の研究など地球科学のためだけでなく、災害対策や海洋監視など社会活動を支援する役割があり、先進国は高度な観測技術と社会への応用を競っている。

このうち、中国が軌道投入した地球観測衛星は7機と突出している。「高分」¹¹⁾、「遥感」5機、「風雲3型」などを打ち上げた。このうち6機は9月以降の打上げである。

その他の16機の内訳は、米国5機、日本3機、ロシア2機¹²⁾、インド2機¹³⁾、ESA・ベトナム・韓国・アラブ首長国連邦 (UAE) の3か国1機関が各1機である。ESAとベトナムの衛星はアリアンスペース社のヴェガロケットにより5月に同時に打ち上げられた。ベトナムの地球観測衛星「VNREDSat-1a」¹⁴⁾はフランスの政府開発援助 (ODA) により提供された。2機目となる「VNREDSat-1b」はベルギーのODAで製造中である。韓国航空宇宙研究院 (KARI) の「コンプサット (KOMPSAT) -5」¹⁵⁾は韓国初のLバンドレーダ衛星である。UAEドバイ首長国の先端科学技術研究所 (EIAST) の「ドバイサット (Dubaisat) -2」¹⁶⁾は韓国企業が製造した。3号機以降はUAEの国産衛星とするべく、ドバイ首長国は40名程度の人員を擁する衛星開発センターを設置した。

米国は4月に地球観測戦略を発表し、今後実施計画を策定することを表明した¹⁷⁾。GEOSS10年実施計画の最終年が2015年であり、それ以降の世界の地球観測活動の枠組みを検討すべき時期に入っている。

欧州はコペルニクス計画 (旧称 GMES) を推進しているが、膨大な地球観測データの統合化を効率よく実現するための「仲介枠組」¹⁸⁾を開発したことが注目される。

4-3 航行測位衛星

航行測位衛星はカーナビ機器などで必須の全球測

注3 衛星バスは構体系、電源系、熱制御系、姿勢制御系、TT&C (Telemetry, Tracking & Command) 系などで構成され、さまざまな種類の衛星に適用される。カメラを搭載すれば地球観測衛星、中継器を搭載すれば通信放送衛星というように、ミッション機器を衛星バスに組み込むことで衛星全体となる。

注4 EADS アストリウム社は2014年1月に主要子会社の社名を取ってエアバス・グループ社に改名した。

位システム (Global Positioning System : GPS) 用の信号を送出する。

米国・ロシアは24機の衛星で構成されるGPS衛星群を運用しており、継続的に毎年数機の代替衛星を打ち上げている。2013年は米空軍 (USAF) が中高度 (約20,000km) 軌道にGPS衛星を1機、ロシアも「グロナス」 (Global Navigation Satellite System : GLONASS) 衛星を1機、それぞれ軌道に投入した。ロシアは辛うじて必要最小限の航行測位衛星を確保しているが、更新用の衛星として期待されていた3機の衛星の同時打ち上げがプロトンロケットの不具合により失敗し、2014年にも追加打ち上げを計画している。

インド宇宙研究機関 (ISRO) は7月1日に初の準天頂軌道の航行測位衛星「IRNSS-1A」¹⁹⁾ を打ち上げ、7機で構成されるインド地域航行測位衛星システム (Indian Regional Navigation Satellite System : IRNSS) の構築に向けて順調なスタートとなった。7機のうち3機は静止衛星で、3つの経度に配置される。その中間の経度に2組の準天頂衛星 (軌道傾斜角29度、2機1組) を配置する計画である。今後約半年おきに後続機を打ち上げる計画で、2014年は2~3機打ち上げられる可能性がある。

欧州と中国の中高度軌道周回型の航行測位衛星は、2013年中にそれぞれ4機程度の打ち上げを見込んでいたが、1機も打ち上げられなかった。

4-4 宇宙科学分野

宇宙科学関係の衛星は、2013年には5機の地球近傍宇宙環境観測衛星、4機の天文観測衛星、4機の月惑星探査機、1機の微小重力実験衛星など計14機が軌道に投入された。これらの衛星は太陽活動の変動監視、宇宙の起源の探求、月惑星の周辺での観測など通常の地上活動では得られない宇宙の姿を探求することや、衛星内でしか実現できない長期間の微小重力環境を利用した科学実験を行う目的などで各国が高い関心を持って打ち上げている。2013年の14機の中で、特に世界中の注目を集めたのはインドの火星探査機と中国の月着陸機である。インドの火星探査機「マンガルヤーン (Mangalyaan)」²⁰⁾ は2014年9月に予定されている火星軌道投入に成功すればアジア初の火星周回探査機となる。最初の関門となる火星遷移軌道への投入は予定通り11月30日に成功した。中国の「嫦娥 (Chang'e) 3号」²¹⁾ は12月14日にロシアと

米国に次ぎ世界で3番目となる月面軟着陸に成功した。月面軟着陸は1976年に旧ソ連が打ち上げた「ルナ24号」以来37年ぶりである。「嫦娥3号」は月面の「虹の入り江」に軟着陸し、「玉兔 (Yutu)」という六輪ローバを月面に降ろし、レーダによる地下構造探査などの科学ミッション活動を開始した。なお、月の夜間を乗り切るために、放射性同位元素熱源 (RHU) を採用したことが技術的に目新しい点である。2014年1月に最初の越夜後の再起動に成功した。

4-5 超小型衛星

超小型衛星の打ち上げ数は、2012年に26機であったのに対し、2013年は93機と約3.5倍になった。米国ではロスアラモスやローレンス・リバモアなどの有名な国立研究所から大学・高校に至るまで、数十機関が新たな衛星を保有するところとなり、インターネット初期の時代のホームページ急増を彷彿させた。2014年1月には「シグナス」物資輸送船に33機の超小型衛星が搭載され、国際宇宙ステーション到着後に順次放出される予定である。1回の物資輸送船の打ち上げで数十機もの超小型衛星が容易に軌道投入できるようになると、今後の衛星数の急速な増大、参加機関のすそ野の広がりには想像もつかない。我が国も2014年2月に米国・日本共同の全球降雨観測衛星「GPM (Global Precipitation Measurement)」とともに筑波大学など7大学の超小型衛星7機をH-IIAロケットで打ち上げる予定である。

5 有人宇宙活動の動向

5-1 国際宇宙ステーション参加国

1年間を通じてISSの運用は順調に行われた。2013年11月7日から11月11日まで、国際宇宙ステーションに9人の宇宙飛行士が搭乗し、ソチ冬季オリンピックの聖火トーチの受け渡しが行われた。トーチは船外活動 (Extra Vehicular Activity : EVA) によりISS船外にも掲げられた。

(1) 米国

米国は2014年度大統領予算で将来の宇宙探査計画として小惑星を捕獲し月の近辺で有人探査を行う計画を掲げた²²⁾。米国の2014年度予算は緊縮財政を求める野党共和党と社会福祉を重視するオバマ大統領の政策が対立し、2013年10月16日まで暫定予算も組めないまま政府機関が閉鎖され、国民生活のさまざまな面で影響が広がった。このような中で、NASAも政府機関の一つとして大部分の業務が閉鎖対象となったが、ISS運用など人命に係わる緊急業務は閉鎖対象から外された。

NASAが民間企業2社と契約している「COTS」輸送は順調に進展し、スペースX社が2013年3月1日に回収型宇宙船「ドラゴン (Dragon) CRS-2」の打上げ、ISSへのドッキングおよび帰還カプセルの回収に成功したのに続き、オービタル・サイエンシズ社 (OSC) も4月21日に「シグナス (Cygnus)」宇宙船実験機を搭載した「アンタレス (Antares)」ロケットの初打上げに成功し、さらにISSにドッキングする2回目 (9月18日) の打上げにも成功して、2013年のISSへの輸送回数は前年の11回から12回に増えた。これにより、COTS計画によるISSへの2社の物資輸送体制がほぼ確立された。「シグナス」には日本製の近接接近システムが採用され、我が国の物資輸送船「こうのとり (H-II Transfer Vehicle: HTV)」と同じ方式でISSへのドッキングを行っている。2014年1月には「シグナス」の運用初号機 (Orb-1) が打ち上げられた。

(2) ロシア

ロシアはISSへの搭乗員および物資輸送で着実に成功を重ねており、2013年も有人宇宙船「Soyuz」と物資輸送船「Progress」各4回で計8機が打ち上げられ、ISSの円滑な運用維持に貢献した。

ロシアはISSに接続する新しい実験モジュール「ナウカ (Nauka、またはMLM)」の追加を計画しており、2013年打上げの予定であったが、開発が遅れていて現在は2015年打上げを予定している²³⁾。ロシアにとって、ISS建設プロジェクトはまだ完了していない。

(3) 欧州およびカナダ

欧州の宇宙開発の中心となっている欧州宇宙機関 (ESA) は6月にISSへの物資輸送機「ATV-4」

(Albert Einstein^{注5)} をアリアン5 ES型ロケットにより打ち上げ、宇宙ステーションへのドッキングに成功した。ATVの運用は2014年の5号機で終了し、その後は米国の新型有人宇宙船「オリオン (Orion)」に欧州サービスモジュール (MPCV-ESM) を提供することでISS運用のオフセットとする。

欧州の宇宙飛行士は日本と同様に1年あたり約半年間のISS長期滞在機会があり、2013年はESA所属のイタリア人宇宙飛行士が5月から11月までの166日間、ISSに長期滞在した。

カナダ宇宙庁 (CSA) 所属のカナダ人宇宙飛行士は、5月までISSに123日間滞在していた。カナダはISSの船外活動用の「カナダアーム」などでISS計画に貢献しており、数年に一度搭乗機会がある。

(4) 日本

日本は7月に物資輸送船「HTV-4」(こうのとり4号) を「H-II B」ロケットにより打ち上げ、「カナダアーム」に把持されてISSのハーモニー (Node-2) モジュールに接続された。

11月7日にJAXAの若田光一宇宙飛行士がISSに搭乗した。若田宇宙飛行士は2014年3月から5月の間、日本人として初のISS船長を務める予定である。

2013年12月31日の時点で日本人宇宙飛行士の累積宇宙滞在日数は790日以上となり2011年以来ロ・米に次ぐ世界第3位である²⁴⁾。2015年には油井亀美也宇宙飛行士、2016年には大西卓哉宇宙飛行士の搭乗が予定されている。第4位のドイツや第5位のフランスなどは当分の間搭乗機会がなく、400日台でとどまっている。

5-2 中国の有人宇宙活動

5回目となる有人宇宙船「神舟 (Shenzhou) 10号」で軌道上の「天宮 (Tiangong) 1号」(2011年打上げ) へのドッキングに成功し、女性宇宙飛行士が宇宙授業を行うなど有人宇宙飛行実績を積み重ねた。

2020年頃に完成を目指す中国版宇宙ステーション「天宮 (Tiangong)」は、「長征5型」ロケットの開発、海南島に整備中の文昌衛星発射センター

注5 欧州の物資輸送船「ATV」は各号機に著名人の名前がつけられる。1号機はJules Verne (フランスの小説家)、2号機はJohannes Kepler (ドイツの天文学者)、3号機はEdoardo Amaldi (イタリアの物理学者)、4号機はAlbert Einstein (ドイツの物理学者) が選ばれた。2014年打上げ予定の5号機 (最終機) はGeorges Lemaître (ベルギーの天文学者) が選ばれた。

(Wenchang Satellite Launch Center : WSLC) の整備などが順調に進み、3つのモジュールと物資輸送船の名称が発表された。コアモジュール「天和 (Tianhe)」(2018年打上げ)、宇宙実験モジュール「問天 (Wentian)」(2020年打上げ) および「巡天 (Xuntian)」(2022年打上げ)、物資輸送船「天舟 (Tianzhou)」などである。これらのモジュールや物資輸送船は文昌射場 (WSLC) から打ち上げられる²⁵⁾。有人宇宙船「神舟」は「長征7型」ロケットにより引き続き酒泉から打ち上げられる。

6 今後の展望

米国ではNASAのCOTS契約が順調に進み、今後2016年までにスペースX社は10機の「ドラゴン」物資輸送船、オービタルサイエンシズ社も7機の「シグナス」物資輸送船を打ち上げる予定である。米国にとって、宇宙活動における最大の課題は米国独自の有人宇宙飛行を再開することである。NASAも将来の有人火星探査を視野に入れた惑星探査用の多目的有人宇宙船 (Multi Purpose Crew Vehicle : MPCV) や宇宙打上げシステム (Space Launch System : SLS) を開発中である。ロシアは6人乗り有人宇宙船など新たなシステムの開発を模索しているが、具体的な進展は見られない。米口とも新規のロケットや衛星の開発予算が潤沢では

なく、政府や議会の反対意見、抑制方針などがあって計画通りに開発を進めることが難しい状況である。

米国のスペースX社は2014年に14回のFalconロケット打上げを計画しており、米国の底力を示す勢いがある。13機のFalcon-9ロケットと1機のFalcon-Heavyロケット (第1段はFalcon-9を3機並べた形状)²⁶⁾で使用する第1段エンジンの必要数は144個に達する。同社がこのエンジンを年間400個のペースで生産するようになると、ロシア・欧州の商業打上げに大きな影響をもたらす可能性がある。スペースX社に対抗できる外国勢力は中国やインドとなることもあり得る。中国は2011年から2015年までの5年間で100機の衛星を打ち上げる計画である。2016年以降には月からのサンプルリターンや独自の宇宙ステーションの建設なども予定している。また、インドは2012年から2017年までの5年間で58ミッション (ロケット打上げ25回、衛星30機、太陽系探査機3機) を実施する計画を発表している。

2014年には、トルクメニスタン・ラオス・アンゴラなどが新たな宇宙利用国として独自の静止通信衛星の保有を計画している。超小型衛星の打上げが簡便になってきたことから、初めて衛星を制作し打ち上げる新興国もますます増えていくと見込まれる。我が国でも大学や企業などが独自の衛星を保有することがごく普通のことになっていくであろう。

参考文献

- 1) 国際宇宙ステーションと「きぼう」日本実験棟、JAXA ウェブサイト : http://www.jaxa.jp/projects/iss_human/kibo/index_j.html
- 2) プロトン打上げ失敗映像、http://www.youtube.com/watch?v=EJ5_1PPgNQ
- 3) South Korea launch STSAT-2C via KSLV-1、NASA Spaceflight.com、2013年1月30日 : <http://www.nasaspaceflight.com/2013/01/south-korea-stsat-2c-via-kslv-1/>
- 4) アンタレスロケット、オービタルサイエンシズ社のウェブサイト : <http://www.orbital.com/SpaceLaunch/Antares/>
- 5) イプシロンロケット、JAXA ウェブサイト : http://www.jaxa.jp/projects/rockets/epsilon/index_j.html
- 6) Kuaizhou - China secretly launches new quick response rocket、NASA Spaceflight.com、2013年9月25日 : <http://www.nasaspaceflight.com/2013/09/kuaizhou-china-launches-new-rocket/>
- 7) About ORS、Operationally Responsible Space Office のウェブサイト : <http://ors.csd.disa.mil/about-ors/>
- 8) 2012年の世界の衛星打上げ動向、辻野照久、科学技術動向2013年3/4月号、No.134 : <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2359/1/NISTEP-STT134J-4.pdf>
- 9) Alpasat Overview、ESA のウェブサイト : http://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/Alphasat/Overview
- 10) O3b ネットワークス社のウェブサイト : <http://www.o3bnetworks.com/>
- 11) 中国の地球観測活動の方向性、辻野照久、科学技術動向2013年9月号、No.138 : <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2429/1/NISTEP-STT138-33.pdf>

- 12) ロシアの地球観測活動の方向性、辻野照久、科学技術動向 2013年10月号、No.139 :
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2439/1/NISTEP-STT139-30.pdf>
- 13) インドの地球観測活動の方向性、辻野照久、科学技術動向 2013年11月号、No.140 :
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2447/1/NISTEP-STT140-29.pdf>
- 14) VAST prepares to launch VNREDSat-1A small satellite into orbit、ベトナム科学技術院、2013年4月9日 :
http://www.vast.ac.vn/en/index.php?option=com_content&view=article&id=1224:vast-prepares-to-launch-vnredsats-1a-small-satellite-into-orbit&catid=5:activities&Itemid=18
- 15) KOMPSAT-5、韓国航空宇宙研究院 (KARI) のウェブサイト :
http://www.kari.re.kr/data/eng/contents/Space_003.asp?catcode=1010111200
- 16) DubaiSat-2 Launch、ドバイ首長国先端科学技術研究所 (EAIST) のウェブサイト :
<http://www.eiast.ae/default.aspx?options=%7Ba93e7034-0baa-4e2b-be21-721a4b6feb8e%7D&view=Article&layout=Article&itemId=163&id=260>
- 17) 米国の地球観測活動の方向性、辻野照久、科学技術動向 2013年7月号、No.136 :
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2398/1/NISTEP-STT136-32.pdf>
- 18) 欧州の地球観測活動の方向性、辻野照久、科学技術動向 2013年8月号、No.137 :
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2418/1/NISTEP-STT137-34.pdf>
- 19) IRNSS-1A、インド宇宙研究機関 (ISRO) のウェブサイト : <http://www.isro.org/satellites/irNSS-1a.aspx>
- 20) Mangalyaan、インド宇宙研究機関 (ISRO) のウェブサイト :
<http://www.isro.org/satellites/mars-orbiter-spacecraft.aspx>
- 21) 探月工程嫦娥三号正様研制順利、2013年7月31日、中華人民共和國中央人民政府、2013年7月31日 (中国語) :
http://www.gov.cn/jrzq/2012-07/31/content_2195214.htm
- 22) 2014年度NASA予算の概要、辻野照久、科学技術動向 2013年5/6月号、No.135 :
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2370/1/NISTEP-STT135-10.pdf>
- 23) Запуск МЛМ «Наука» вновь откладывается (MLM「ナウカ」の打上げは再び延期) :
<http://scientificrussia.ru/articles/iss-nauka-controversy>
- 24) 宇宙滞在日数 日本3位に、読売新聞、2011年7月23日夕刊
- 25) 中国载人航天工程标识及空间站、货运飞船名称正式公布、中国有人宇宙プログラム室 (CMSEO) ニュース、2013年10月31日 : <http://www.cmseo.gov.cn/news/show.php?itemid=3743>
- 26) アポロ計画以来の重量級ロケットを民間企業が開発、科学技術動向 2011年6月号、No.123 :
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2244/1/NISTEP-STT123-7.pdf>

..... 執筆者プロフィール



辻野 照久

科学技術動向研究センター 客員研究官

<http://members.jcom.home.ne.jp/ttsujino/space/sub03.htm>

専門は電気工学。旧国鉄で新幹線の運転管理、旧宇宙開発事業団で世界の宇宙開発動向調査などに従事。現在は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 調査国際部調査分析課特任担当役、科学技術振興機構 (JST) 研究開発戦略センター特任フェローも兼ねる。趣味は切手収集で、170年間・193カ国にわたる25万種類以上を保有。