



Science & Technology Trends

科学技術動向

5-6
2014
No.144

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

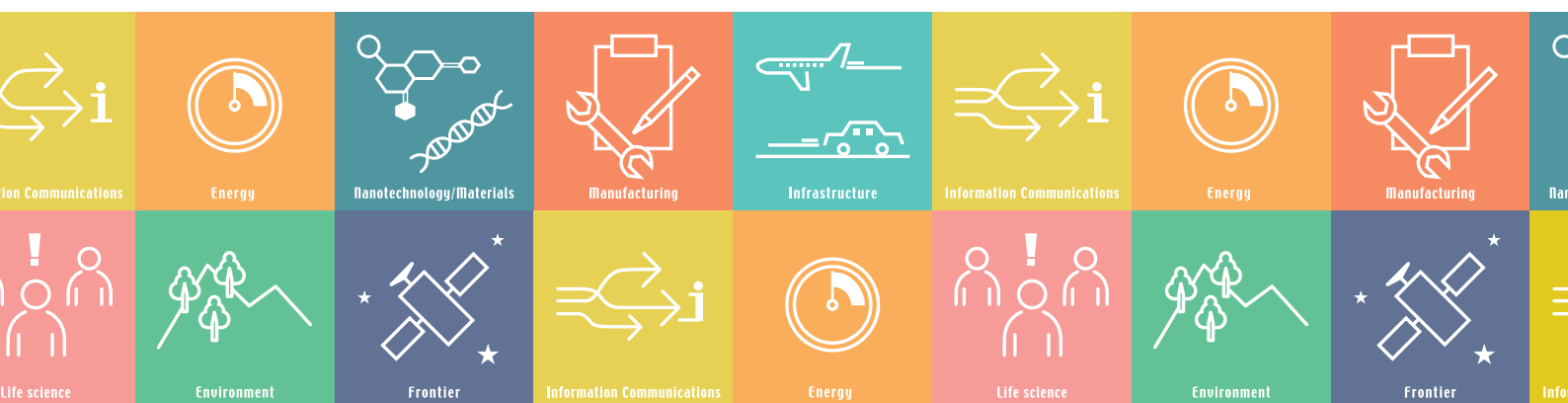
レポート

p 4 世界における予測活動の最近の動向

p10 フォーサイトに関する最新動向—第5回予測国際会議
世界の科学技術予測の現状
～社会課題解決に向けて～
(開催報告 その1)

p15 宇宙食の現状と災害食への活用

p24 各国の地球観測動向シリーズ(第8回)
大韓民国の地球観測活動の方向性
—外国技術を導入した継続的な地球観測衛星利用—



本文は p.4 へ

世界における予測活動の最近の動向

予測活動は1990年代に欧州で盛んになり、現在、様々な規模・手法により、世界各国で実施されている。予測活動は、多様な関係者の参加により体系的に将来を展望する活動であり、一般に「フォーサイト」と呼ばれることが多い。かつてはテクノロジーフォーサイトが中心であったが、近年はイノベーションを目的としたフォーサイトへの移行が見られる。

実施に当たっては、文献調査、専門家パネル、シナリオプランニング等の手法を適宜組み合わせることが通例である。近年では、イノベーション創出の機会を見出すための、対話型のフューチャーワークショップやホライズンスキニングが注目されており、企業や政府等での導入・試行が進んでいる。

将来の不確実性が高まる中、どのようにして潜在的な脅威や好機の兆しを捉え、イノベーション創出のための政策立案に繋げるのか、各国の活動事例から学ぶことは我が国の科学技術政策にも参考となる。

本文は p.10 へ

フォーサイトに関する最新動向―第5回予測国際会議 世界の科学技術予測の現状～社会課題解決に向けて～ (開催報告 その1)

当所の主催により、2014年2月12日～13日の2日間、日本科学未来館で第5回予測国際会議を開催した。4つのセッションに、日本を含む9カ国、2国際機関から計12件の発表があった。

将来を俯瞰することは研究計画や戦略作りには欠かせないことから、現在、世界中でフォーサイトと呼ばれる未来予測調査が実施されている。そして、その結果は各国・機関において多くの政策策定プロセスに活用されている。フォーサイトは当所が1971年から実施しているデルファイ調査を始め、シナリオライティング、ホライズンスキニングなど、さまざまな手法があるが、その利用目的に合わせて単独または組み合わせた形で利用される。

本誌では今号から数回にわたり、本国際会議で発表された内容および質疑応答について概要を紹介する。今回は、政府機関における科学技術予測活動について、日本でのこれまでの科学技術予測活動の歴史と事例、また主要各国の中でも政策策定プロセスへの導入、活用が進んでいるロシアおよびシンガポールの政府関係者からの発表概要を紹介する。

宇宙食の現状と災害食への活用

宇宙食は、宇宙飛行士の健康を守るために必要な栄養成分を含むことは当然の前提として、通常地上で食される食品と比べると、万が一の火災時に有害ガスを出さないこと、微小重力環境での飲食が可能であること、常温で1年以上の長期保存が可能であること、食器を使わずに食べられること等の条件を満たす必要がある。さらに、楽しみの少ない宇宙生活のストレスをできるだけ少なくし、パフォーマンスを維持するためには、地上となるべく近い食生活を送ることが望まれている。

災害時にも同じことがいえ、制約・ストレスの多い被災生活の中で少しでも元気を出して生活し、必要な活動を行うためには、できる限り食生活も日常に近い内容である必要がある。その際、電気やガス、水の使用等に制限があるため、同様な制約の中で宇宙飛行士の食生活を充実させる努力を行ってきた宇宙食の開発・運用の経験が生かされる余地がある。

宇宙食の経験・仕様を災害食に活用することにより、災害対応の食がより災害関係者のニーズに沿ったものとなること、衛生面や安全性等の条件が厳しい宇宙食の基準も盛り込んだ食品ということで消費者が安心して災害食を購入・備蓄する動機を与えること、栄養成分などの点で通常の食品やこれまでの非常食よりも健康に配慮した仕様となることを目指す必要がある。今後、コスト面での問題もクリアされて、こうした災害食の普及が進み、災害時のみならず平時にも活用されることを通じて、国民の健康の維持・増進にも貢献することを期待したい。

各国の地球観測動向シリーズ（第8回） 大韓民国の地球観測活動の方向性 —外国技術を導入した継続的な地球観測衛星利用—

大韓民国の科学技術の中で、地球観測は最も重要な分野の一つである。2013年に策定された第3次科学技術基本計画には、気候変動対応力の強化、環境保全・復元システムの高度化、自然災害予防と被害の最小化など、地球観測に関連する課題がいくつか含まれている。このような活動を行うため、韓国は欧州の衛星製造企業の技術を利用し、自国で独自に開発した機器と組み合わせて、極軌道の光学観測衛星・レーダ観測衛星や静止軌道の気象観測衛星を運用している。

同国では、自国の政府関係機関の各種業務にそれらの衛星から得られる画像を利用するだけでなく、海外にも画像の販売や提供を行うことで、国家の国際的地位を高めようとしている。また、欧州の衛星技術の利用により自らの技術力を向上させ、それにより得られた小型衛星開発・製造能力を活用して、大学からスピンオフした衛星製造企業がマレーシア、アラブ首長国連邦、スペインなどの地球観測衛星の製造を受注している。地球観測活動に見られる韓国独自の製造能力や運用能力の実情を把握することにより、韓国の科学技術力の一側面を具体的に評価することができる。本稿では、外国の技術を取り入れて宇宙先進国の仲間入りを目指す韓国の地球観測動向について、概観・分析を行う。

世界における予測活動の最近の動向

横尾 淑子

概 要

予測活動は1990年代に欧州で盛んになり、現在、様々な規模・手法により、世界各国で実施されている。予測活動は、多様な関係者の参加により体系的に将来を展望する活動であり、一般に「フォーサイト」と呼ばれることが多い。かつてはテクノロジーフォーサイトが中心であったが、近年はイノベーションを目的としたフォーサイトへの移行が見られる。

実施に当たっては、文献調査、専門家パネル、シナリオプランニング等の手法を適宜組み合わせることが通例である。近年では、イノベーション創出の機会を見出すための、対話型のフューチャーワークショップやホライズンスキニングが注目されており、企業や政府等での導入・試行が進んでいる。

将来の不確実性が高まる中、どのようにして潜在的な脅威や好機の兆しを捉え、イノベーション創出のための政策立案に繋げるのか、各国の活動事例から学ぶことは我が国の科学技術政策にも参考となる。

キーワード：フォーサイト、予測活動、イノベーション

1 はじめに

我が国では1971年から科学技術予測調査が実施されており、当研究所は、1988年の設置以来、調査実施機関となっている。科学技術動向研究センターは、調査実施の傍ら、国際会議・セミナー等の開催¹⁾や国際共同研究を通じて各国関係機関と情報及び意見の交換を行い、予測活動をより有用な政策決定ツールとするための手法開発に取り組んでいる。

本稿では、これまで収集した情報を基に、各国において様々な目的の下で実施されてきた科学技術と社会の発展に関する中長期的な公的予測活動の最近の動向を概観する。

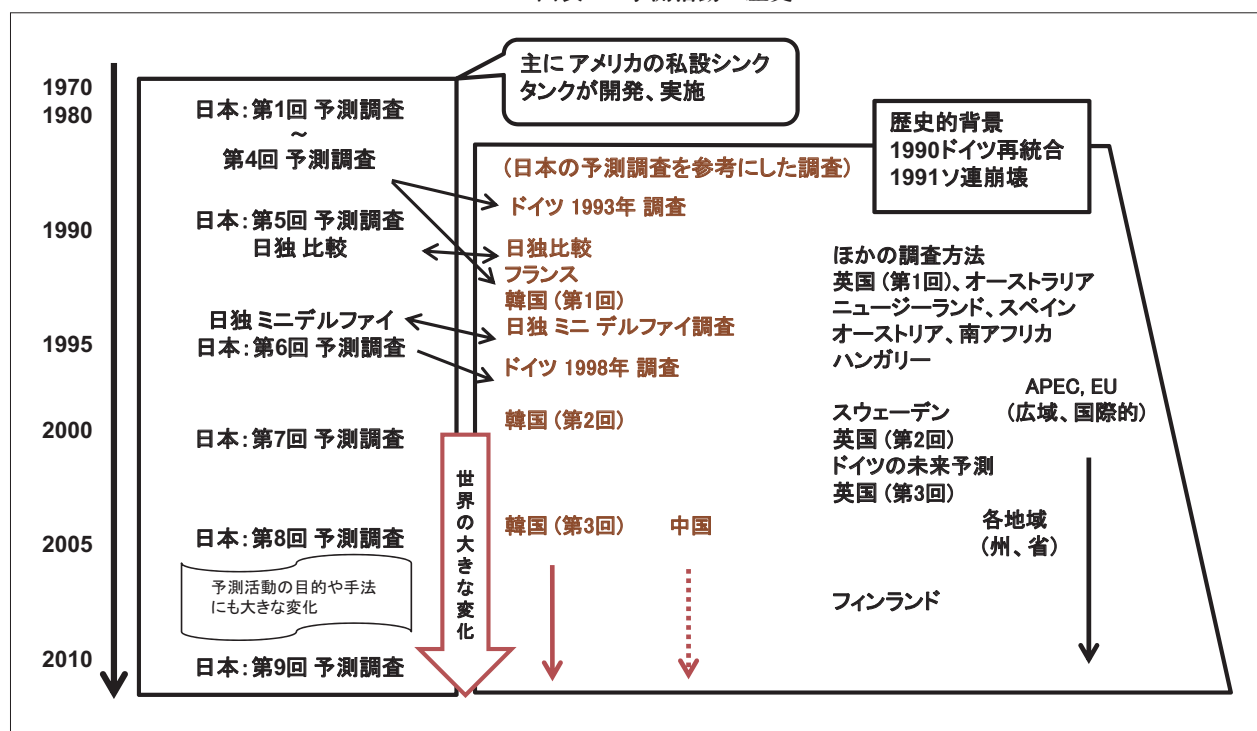
2 予測活動の概要

2-1 予測活動とは

1990年代欧州において盛んになった予測活動は、その後新興国にも広がり、現在多くの国々で実施に至っている(図表1)。その目的は、科学技術政策への適用、イノベーションツールとしての活用などである。各国で実施されている予測活動は、図表2に示すように、規模、実施主体、手法など、様々な点で多様化している。

予測活動は、一般的に「フォーサイト(foresight)」と称される。「フォーサイト」は、単なる将来予測ではないとの観点から、しばしば「フォーキャスト」との対比において取り上げられてきた。その一方、forecast、backcast、future studies、futures analysis、strategic planning、visioning、future-oriented technology analysis、technology assessment、

図表1 予測活動の歴史



図表2 予測活動の多様化

項目	内容
対象地域	世界規模（国連大学ミレニアムプロジェクト、等）
	広域（欧州、アジア、等）
	国
	国内地域
実施主体	国際機関（UNIDO、OECD、APEC、EU等）
	政府機関（英国 BIS、ドイツ BMBF、等）
	団体（学協会、業界団体、大学）
	地方自治体（ドイツ各州、中国上海市、等）
	ソーシャルネットワーク（予測市場）
目的	社会変化・メガトレンド
	目指すべき将来社会像
	戦略・ビジョン策定
	科学技術の動向
手法	継続性（単発プロジェクト、継続調査）
	組み合わせ（単一手法、複数手法）
	種類（文献調査、専門家パネル、ワークショップ、等）

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

impact assessment など、類似性が見られ、明確に切り分けることが難しい様々な名称の活動の総称ともなってきた。すなわち「フォーサイト」は、予測活動の一つを指す場合と予測活動全般を指す場合がある。近年では、類似する活動を包括する語として forward-looking activities が用いられる場合もある。

これらの活動に共通する要点は、体系的なアプローチによる将来展望である。欧州委員会では、フォーサイトを「関係者の参加を得て、体系的に未

来に関する知見集約と中長期ビジョン形成を行うプロセスであり、将来に向けて現時点でなすべきことを決定し行動に向かわせるもの」とであるとしている。未来を「考え、議論し、創造する」ことを3本の柱として掲げており、多様な関係者の参加、並びに、実践指向（予測ではなく、行動により未来を創る）が強調されている。したがって、調査結果の分析と提言で終わるのではなく、具体化に向けた発展的な議論や政策検討への寄与などの事後評価まで含む活動とされている。

2-2 予測活動の焦点

近年、技術の革新だけでなく、社会の複雑な問題の解決や新しい社会の仕組みを生み出すための手段として、オープンイノベーションやユーザーイノベーションなど新しい方向性が注目されている。それまで考えられなかった同業他社間、異業種間、産学、市民・ユーザーなど、立場の異なる関係者の対話による創発が、新しい可能性を拓くものとして期待を集めている。

このような状況の下、関係者の認識の共有と討論の基盤として、予測活動の結果のみならず、プロセス自体に大きな意義が見出されるようになった。科学技術の専門家とそれ以外の関係者の位置付けにも変化が見られ、ニーズとシーズのマッチングという対峙的な関係から、同じ方向を見据えて同じ立場で将来に向けた議論を行うことが指向されるようになった。

予測活動の中心的機関の一つである英国マンチェスター大学の Luke Georghiou は、1990年代からの予測活動を5つの世代に分けており、より広い範囲の事項を扱い、他の政策や戦略策定との結びつきが強まっている状況にあるとしている³⁾。そして予測活動は、テクノロジーフォーサイトからイノベーションフォーサイトへと移行し、ユーザーと供給側のビジョン共有という新しい流れを支えるものとなった、と述べている。

2-3 予測活動で用いられる手法

予測活動で用いられる手法は、定性的／定量的、規範的／探索的（現状が出発点）、一つの未来／複数の未来、などの観点から特徴づけられる⁴⁾。英国マ

ンチェスター大学の Popper⁵⁾ は、創造性／エビデンス、高度な専門性／関係者間の相互作用を頂点とする「フォーサイトダイヤモンド」を作成し、各手法を位置付けている。

主な手法の採用状況を図表4に示す。最も一般的なのは、文献調査、専門家パネル、シナリオである。また、特定の地域で多用される手法として、デルファイ（アジア、ラテンアメリカ）、環境スキャニング（ラテンアメリカ）、フューチャーワークショップ（北米）、ロードマップ（北米、アジア）が挙げられる⁶⁾。未来を予測するためには単一手法によるアプローチでは不十分なことから、各手法の特徴を生かす形で複数の手法を組み合わせ、一連の工程として実施する場合はほとんどである。

3 予測活動の最近の実施例

近年、イノベーション創出に向け、多様なセクターからの参加者によるフューチャーワークショップやホライズンスキャニング（環境スキャニング）が注目を集めており、我が国でも盛んになってきた。いずれも手法としては新しいものではなく、海外における実践の歴史は長い。

3-1 フューチャーワークショップ

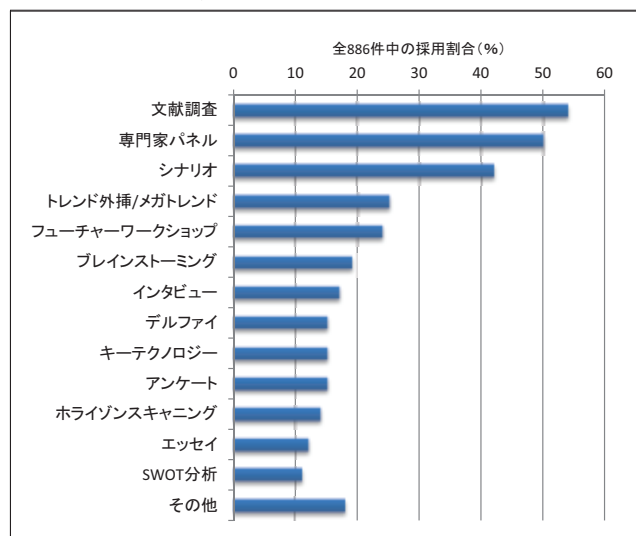
文部科学省は、平成25年度に「大学等シーズ・ニーズ創出強化支援事業」を立ち上げ、30校を選定した。この事業は、デザイン思考の対話型ワークショップを通じて、イノベーション創出の確率を高めること、及びそのプロセスの検証を行うことを目的としたものである。将来の社会的課題の解決に

図表3 予測活動の変遷

第一世代	技術フォーキャストが中心。技術動向自体の影響が大きい。技術専門家や予測専門家の手に委ねられている。
第二世代	技術とマーケットとの関わり合いに着目。技術発展は、マーケットへの貢献・影響の観点から議論される。産学の参加。
第三世代	社会の様々な関係者の視点を入れ、社会トレンドや制度調整など広範な社会的側面を扱う。
第四世代	予測の役割が、科学・イノベーションシステムの領域にも拡大。複数組織が他の活動と連携しつつ計画・実施。
第五世代	様々な予測活動が融合して実施される。STI システムの構造、及び、広範な社会・経済的事項における科学技術的側面に注目。広範な政策アプローチの中に予測活動が位置付けられる。

出典：参考文献3

図表4 主な手法の採用状況



出典：参考文献5を基に科学技術動向研究センターにて作成

向けたバックキャストの視点で、これまで主たる役割を担ってきた理工系の大学教授だけではなく、企業、NPO、市民など多様な関係者が参加して一緒に対話を行うことにより、新しい発想を誘発するものである。ワークショップは、議論の場に留まらず、対話を続けることで新しい行動に向けた関係構築を促し、実践に繋げるための場ともされている。また、「革新的イノベーション創出プログラム（COI STREAM）」においては12件が採択され、あるべき社会の姿を見据えた研究開発プログラムの議論が行われている。このように、大学を中心として革新的な研究開発成果によるイノベーション創出や産学連携を推進するためのワークショップ開催やフューチャーセンター設置が広がっている。

一方企業においては、ワークショップを通じた、新商品・サービスの探索や長期ビジョン検討が活発に行われている。同業他社や異業種など多様な参加者の対話を促すための仕組み作りも始まった。まちづくりや教育などの社会的に関心の高いテーマについて、地方公共団体やNPOを主体とした対話の場作りも始まっている。

3-2 ホライズンスキヤニング

ホライズンスキヤニングは、潜在的な脅威や好機、あり得る将来展開などを体系的に観察・分析する活動である。長期的な変化の可能性を探索し、それがどのような影響・効果をもたらすのかを分析する。スキヤニングの対象には、政治・経済・社会などのマクロ環境、技術、エマージングイシューなどがある。持続的なトレンドだけでなく、

現在認識できる範囲の境界を広げて、見えないものを見ること、すなわち、想定の外にある新しい変化の兆しを見出すことの重要性が強調され、ワイルドカード（起こる確率は低い、インパクト大）やウィークシグナル（将来変化の予兆）の探索が行われている。予測活動で取り上げるトピックを特定するための前段階の作業であり、予測活動の一環として扱われることが多い。

公的な取り組みの代表例としては、英国、オランダ、シンガポールが挙げられる。いずれも、省庁横断的な取り組み、継続性の重視という方向性が共通に見られる。

調査は、①情報収集、②情報からのトピック抽出、③トピックの将来インパクト等の評価から成る。文献、新聞・雑誌記事、報道、ウェブサイト等から情報を収集（既存データソースの利用を含む）し、それらのグループ化、将来的意味合いや正負のインパクトの大きさなどについて、ワークショップ、インタビュー、ディスカッションなどの手段により検討が行われる。シナリオの形で分析結果が示されることも多い。医療、環境、セキュリティなどの領域における実施例がよく見られる。

4 世界各国における予測活動の例

欧州委員会研究・イノベーション総局では、2000年代初めから予測活動に関するネットワーク⁴⁾を構築し、欧州連合の域内外での活動の情報を収集・分析し、ウェブサイト上で公開している。2009年の報告書⁶⁾では、2004～2008年の間、欧州を中心とする55か国、2地域（欧州、アジア）における2000を超える活動があったと報告されている。この中で、アジア地域については、日本、インド、韓国、シンガポール、中国が実施例として挙げられているが、この他、カザフスタン、台湾、マレーシア等でも実施例がある。また、報告書では取り上げられていないアフリカ地域についても、南アフリカ、エジプト等で実施例がある。図表6に、最近実施されたプログラムの例を示す。

5 おわりに

我が国だけではなく1990年代に欧州において予

測活動への関心が高まって以来、先進国、新興国を問わず、様々な地域で様々なレベルで取り組みがなされ、経験が蓄積されている。将来の不確実性の高い課題が多い現在、潜在的な脅威や好機をどのようにして捉え政策立案に繋げようとしているのかなど、

他国の経験を学ぶことは非常に意義深い。

現在、科学技術動向研究センターでは、各国の特徴的な予測活動やその結果等について調査を進めている。今後、各国の取り組み状況や実施事例など、最新の情報について本誌において随時紹介を行う。

図表5 ホライゾンスキャンニングの事例

国	活動状況	プロジェクト例
英国 ⁷⁾	政府科学庁ホライゾンスキャンニングセンター（HSC）や環境・食糧・農村地域省（Defra）等、2000年代前半各省庁で始動。2012年のレビューにおいて横断的な取り組みの必要性が指摘され、2013年に枠組みが示された。	<ul style="list-style-type: none"> • Sigma Scan、Delta Scan (2005-2006) • Technology and innovation futures: UK growth opportunities for the 2020s (2010, 2012)
オランダ ⁸⁾	研究開発会議顧問委員会（COS）の主導の下、技術動向研究センター（STT）が実施。組織を設置せず、プロジェクトベースで実施している。	<ul style="list-style-type: none"> • Horizon Scan 2007 (2005～2007) • Horizon Scan 2050 (2012～2014 予定)
シンガポール ⁹⁾	首相府国家セキュリティ対応センター（NSCC）下にリスクアセスメント・ホライゾンスキャンニングセンターを設置、継続的に活動。国の安全保障と紐づけられている。	<ul style="list-style-type: none"> • Risk Assessment and Horizon Scanning programme (2005～)
OECD ¹⁰⁾	国際ナショナルフューチャープログラム下のプロジェクトとして実施した。	<ul style="list-style-type: none"> • OECD Horizon Scan (2007)
EU	欧州委員会研究・イノベーション総局がFP7下で、欧州の科学技術システムに影響を与え得るエマージングイシューを対象とした「ブルースカイリサーチ」を公募、6プロジェクトを採択。うち2プロジェクトがスキャンニング関連である。	<ul style="list-style-type: none"> • Scanning for Emerging Science and Technology Issues (SESTI)¹¹⁾、iKNOW¹²⁾

出典：参考文献3

図表6 各国・地域における最近の予測活動事例

地域	国・地域	プロジェクト名（実施期間あるいは公表年）
アジア	インド	Technology Vision 2035 (2011～)
	カザフスタン	Kazakhstan 1 st Scientific Technological Foresight (2010～2011)
	韓国	第4回技術予測 (2010-2011)
	台湾	2025 台湾産業新願景 (2012～)
	マレーシア	National Technology Foresight 2010 (2010)
オセアニア	オーストラリア	Our Future World (2009～)
	ニュージーランド	Project 2058 (2007～2011)
欧州	英国	Future of cities (2013～)、Future of demographic change (2013～)、等
	ドイツ	BMBF Foresight (2007～2009、2012～)
	オランダ	The Netherlands of 2040 (2010)
	オーストリア	CIVISTI - Ambient Assisted Living (2013～)
	ロシア	National S&T Foresight 2030 (2006～)
アフリカ	エジプト	Desalination Technology Roadmap 2030 (2007)
	モロッコ	Agriculture 2030: A future for Morocco (2012)
	南アフリカ	Enhancing Innovation in South Africa: The COFISA Experience (2010)
北米	カナダ	Policy Horizons Canada (2011～)
	米国	Global Trend 2025 (2008)
南米	コロンビア	Colombian Technology Foresight Programme: Cycle 2 (2005～2008)

出典：科学技術動向研究センター調べ

参考文献

- 1) 科学技術・学術政策研究所、「第5回予測国際会議：世界の科学技術予測の現状～社会課題解決に向けて～」(2014年2月)
- 2) 奥和田久美、「予測活動の世界的な潮流と科学技術政策研究所の取り組み」、科学技術政策研究レビュー第1巻、科学技術政策研究所(2011)
- 3) Georgiou, L., "Future of Foresighting for Economic Development", UNIDO Expert Group Meeting on the Future of Technology Foresight, May 2007
- 4) European Foresight Platform: <http://www.foresight-platform.eu/>
- 5) Rafael Popper, "How are foresight methods selected?", Foresight, Vol.10, No.6 (2008)
- 6) "Mapping Foresight: Revealing how Europe and other world regions navigate into the future", European Commission, November 2009
- 7) Horizon Scanning Centre:
<https://www.gov.uk/government/groups/horizon-scanning-centre>
- 8) Horizon Scan 2007: <http://stt.nl/horizonscan-2007/#English>
- 9) RAHS Program Office: <http://app.rahs.gov.sg/public/www/home.aspx>
- 10) International Futures Programme: <http://www.oecd.org/futures/>
- 11) SESTI: <http://sesti.info/>
- 12) iKnow: <http://wiwe.iknowfutures.eu/iknow-description/>

執筆者プロフィール



横尾 淑子

科学技術動向研究センター 上席研究官

科学技術・学術政策研究所にて、資源および科学技術人材に関する調査に従事。現在、科学技術予測に関する調査を担当。

フォーサイトに関する最新動向—第5回予測国際会議 世界の科学技術予測の現状 ～社会課題解決に向けて～ (開催報告 その1)

村田 純一 浦島 邦子

概 要

当所の主催により、2014年2月12日～13日の2日間、日本科学未来館で第5回予測国際会議を開催した。4つのセッションに、日本を含む9カ国、2国際機関から計12件の発表があった。

将来を俯瞰することは研究計画や戦略作りには欠かせないことから、現在、世界中でフォーサイトと呼ばれる未来予測調査が実施されている。そして、その結果は各国・機関において多くの政策策定プロセスに活用されている。フォーサイトは当所が1971年から実施しているデルファイ調査を始め、シナリオライティング、ホライゾンスキャニングなど、さまざまな手法があるが、その利用目的に合わせて単独または組み合わせた形で利用される。

本誌では今号から数回にわたり、本国際会議で発表された内容および質疑応答について概要を紹介する。今回は、政府機関における科学技術予測活動について、日本でのこれまでの科学技術予測活動の歴史と事例、また主要各国の中でも政策策定プロセスへの導入、活用が進んでいるロシアおよびシンガポールの政府関係者からの発表概要を紹介する。

キーワード：フォーサイト， 予測， 科学技術， 政策， デルファイ調査， シナリオ

1 はじめに—概要と目的—

将来を俯瞰することは研究計画や戦略作りには欠かせないことから、現在世界中でフォーサイトと呼ばれる未来予測調査が実施されている。そして、その結果は多くの政策策定に活用されている。フォーサイトは当所が1971年から実施しているデルファイ調査¹⁾を始め、シナリオライティング、ホライゾンスキャニングなど、さまざまな手法があるが、その利用目的に合わせて単独または組み合わせた形で利用される²⁾。これまで当所主催の予測国際会議を2000年から4回実施^{3～5)}している。この度、わが国における予測活動のさらなる発展を目指すことを目的に、世界各国における予測活動の現状とその社会問題解決への適用に関する事例を通じて、

持続可能な将来の姿を描くにはどうすべきか議論するために、第5回予測国際会議を実施した。講演者は、日本を含む9カ国、2国際機関から計12名、参加者は2日でのべ約百数十名だった。

今号から数回にわたり、その会議状況について報告する。

2 基調講演より

「Overview of 40 years foresight experiences and next one to meet new political needs (40年のフォーサイト経験の概観と新しい政策ニーズに見合う次世代フォーサイト)」と題した基調講演では、1971年から日本が大規模な科学技術に関する予測

活動をしてきた経緯と、今後の政治的ニーズに合わせた予測調査について説明があった。図表1に、日本における社会のニーズと科学技術予測調査、政策の変遷の関係を示す。社会の変化により、フォーサイトに求められるニーズは変化してきており、日本では5年ごとにすでに9回の大規模調査が実施され、主にデルファイ法による調査⁶⁾をしてきた。そして第8回以降から社会ニーズ調査⁷⁾、シナリオライティング⁸⁾、論文分析⁹⁾などが付加され、多方面から検討することを行っている。そして従来からのデルファイ調査も改良し、技術を中心にした設問だけではなく、社会ニーズに対応した課題も設定するように変化している。質問内容も「技術的な実現時期」と、「社会への適用時期」を聞き、その促進要因や、時間的ギャップを縮める要因についても問うことで、より政策提案に資する結果を導くことを目的として実施してきた。そうした取り組みによる、第8回の結果は「第3期科学技術基本計画」¹⁰⁾策定の検討や、「イノベーション25」¹¹⁾に使用された。そして、デルファイ調査は40年以上の経験があることから、設問の実現率を分析したところ、一部実現も含めて全分野平均で約70%が実現していることが明確となった^{12,13)}。そして次のような提案があった。

今後実施する第10回デルファイ調査は、課題解決を目的とすると、該当領域の専門家だけでは足りず、さまざまなバックグラウンドの人を集めて、デ

ザインから実施まで行わなければならない。そして、クライアントは誰かということ意識し、クライアントと定期的にディスカッションする機会を設け、予測調査の設計から実施をすることが望ましい。さらに具体的な政策オプションを作るところまで、予測調査の機能を高めることが必須である。

また講演後、会場から「イノベーションの観点で考えると、特定の業界と官とのつながりという、従来の構造では、社会を変革していく新しいアイデア、新しい企業の創出が難しいと思う」という意見に対して、「欧州に比べて日本は起業数が少ないこと、ベンチャーは1000の会社が10年あるいは20年後に3つ残って、それが成功していると言う事なのに、日本は生存率が高い。つまりベンチャーのシステムになっていない。それは、社会全体のさまざまな要素が影響しているので、どこから変えるのが良いかがポイントになると思う」との回答があった。

3 政府機関における予測活動

3-1 ロシアにおける科学技術予測システム

ロシアの科学技術活動の概要、技術予測システ

図表1 科学技術予測調査の変遷



出典：科学技術動向研究センターにて作成

ム、Russian S&T Foresight 2030の方法と結果、予測調査結果の社会実装（利用）について説明があった。図表2に、ロシア科学フォーサイト2030の概要を示す。

ロシアでは2012年に大統領命令により「S&T Foresight 2030」が承認された。つまり、予測調査が制度化され、調査結果は政府のみならず、企業の意思決定にも使われることとなったのである。そのため、調査は政府機関だけでなく、複数の企業も参加して行われることとなった。当然、調査範囲は科学技術にとどまらず、社会および経済の領域も含められた。調査に求められたことは、国家、企業、その他、社会の組織におけるネック（阻害事項）の除去である。阻害要因として考えられることは、組織の甘えの構造があり、その改善対策としては、従来の組織構造の是正、現在の社会問題の重視、伝統産業とイノベーションによる新興市場の開拓、そして弱点や欠点の克服である。「S&T Foresight 2030」調査は、ロシア国立研究大学高等経済学院（HSE）¹⁵⁾が中心となって実施したが、国内の大学や研究所はもちろんのこと、海外機関であるOECD、UNIDO、EU、マンチェスター大学、ジョージア工科大、フラウンホーファー、KISTEP（韓国科学技術企画評価院）などとも協力して継続して調査を実施している。特に社会経済開発にフォーカスして、

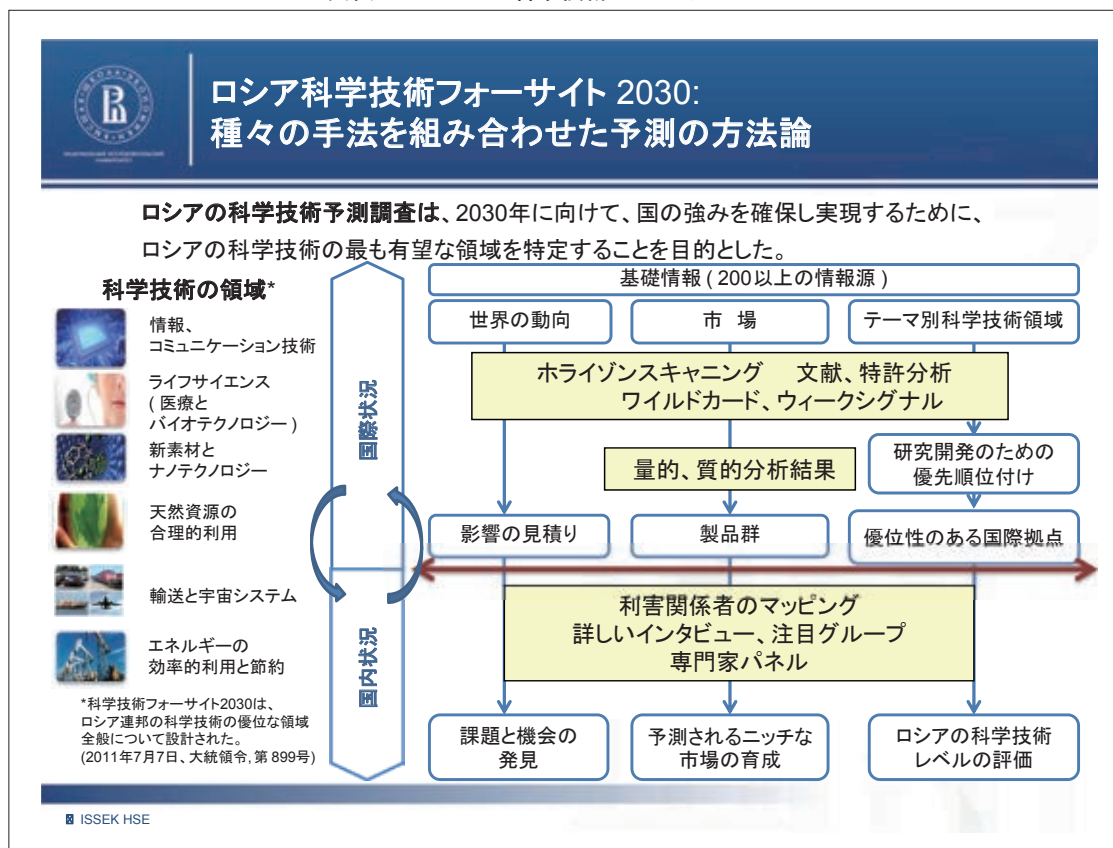
戦略的な進展、ワイルドカード（予期せぬ事象）やウィークシグナル（発生確率の低いと思われる事象）にも焦点を当て、2040年以降までを考慮した長期間のシナリオを作成している。ロシアの予測活動は、政府機関のみならず、一般企業からの委託によっても行われている。これは、フォーサイトはイノベーションのツールとして、企業戦略を作成する上でも重要視されているからである。予測結果を利用するには、社会との対話が重要である。HSEでは、国防関係の調査は実施しておらず、別の組織で実施している。また、報告書はまだロシア語でしかできていないが、現在英語に翻訳しており、近々公表予定である¹⁶⁾。

3-2 シンガポール政府の戦略的予測

首相府¹⁷⁾にて国の予測活動を取りまとめている担当者から、シンガポールにおける戦略フォーサイトの組織、実施体制、シナリオ、ホライズンスキヤニング、参加型フォーサイトについて説明があった。図表3に予測に関係する機関の概略図を示す。

当初、戦略立案の部署は国防省に属してお

図表2 ロシアの科学技術フォーサイト2030



出典：参考文献14 1-1-5 ページの図を基に科学技術動向研究センターにて作成

参考文献

- 1) デルファイ調査検索、科学技術・学術政策研究所ホームページ : <http://www.nistep.go.jp/research/scisip/delphisearch>
- 2) 例えば FOR-LEARN, JRC, EU : http://forlearn.jrc.ec.europa.eu/guide/A2_references/
- 3) 技術予測国際コンファレンスの開催結果報告、政策研ニュース No.139、2000年5月、科学技術庁科学技術政策研究所広報委員会 : <http://hdl.handle.net/11035/279>
- 4) 第2回技術予測国際会議報告、政策研ニュース No.174、2003年4月、文部科学省科学技術政策研究所広報委員会 : <http://hdl.handle.net/11035/340>
- 5) 第3回技術予測国際会議報告、政策研ニュース No.230、2007年12月、文部科学省科学技術政策研究所広報委員会 : <http://hdl.handle.net/11035/400>
- 6) 我が国における科学技術の状況と今後の発展の方向性、NISTEP REPORT No.99、科学技術政策研究所、2005年5月 : <http://hdl.handle.net/11035/627>
- 7) 科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査 社会・経済ニーズ調査、NISTEP REPORT No.94、科学技術政策研究所、2005年5月 : <http://hdl.handle.net/11035/593>
- 8) 科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査－注目科学技術領域の発展シナリオ調査－、NISTEP REPORT No.96、科学技術政策研究所、2005年5月 : <http://hdl.handle.net/11035/652>
- 9) 科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査 急速に発展しつつある研究領域調査、NISTEP REPORT No.82、科学技術政策研究所、2004年6月 : <http://hdl.handle.net/11035/626>
- 10) 第3期科学技術基本計画、内閣府 : <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/kihon3.html>
- 11) イノベーション25、内閣府 : <http://www.cao.go.jp/innovation/>
- 12) 横尾淑子、過去の予測調査に挙げられた科学技術は実現したのか、科学技術動向 No. 112, p23-32、2010年7月 : <http://hdl.handle.net/11035/2157>
- 13) 過去のデルファイ調査に見る研究開発のこれまでの方向性、Discussion paper No.86、科学技術・学術政策研究所、2012年9月 : <http://hdl.handle.net/11035/1194>
- 14) 講演資料、第5回予測国際会議：世界の科学技術予測の現状～社会課題解決に向けて～、科学技術・学術政策研究所、2014年2月
- 15) ロシア国立研究大学高等経済学院 ホームページ : <http://www.hse.ru/en/>
- 16) Foresight russia、ロシア国立研究大学高等経済学院 : <http://foresight-journal.hse.ru/en/>
- 17) シンガポール首相府 ホームページ : <http://www.pmo.gov.sg/content/pmosite/home.html>

執筆者プロフィール



村田 純一

科学技術動向研究センター 特別研究員

専門は半導体結晶成長。企業にて、化合物半導体結晶性基板作製の研究などに従事。2013年5月より、科学技術動向研究センターにて、科学技術予測調査の業務に従事。計測、通信用デバイスに関心がある。博士（工学）



浦島 邦子

科学技術動向研究センター 上席研究官

工学博士。日本の電機メーカー、カナダ、アメリカ、フランスの大学、国立研究所、企業にてプラズマ技術を用いた環境汚染物質の処理ならびに除去技術の開発に従事後、2003年より現職。世界の環境とエネルギー全般に関する科学技術動向について主に調査中。

宇宙食の現状と災害食への活用

中沢 孝

概 要

宇宙食は、宇宙飛行士の健康を守るために必要な栄養成分を含むことは当然の前提として、通常地上で食される食品と比べると、万が一の火災時に有害ガスを出さないこと、微小重力環境での飲食が可能であること、常温で1年以上の長期保存が可能であること、食器を使わずに食べられること等の条件を満たす必要がある。さらに、楽しみの少ない宇宙生活のストレスをできるだけ少なくし、パフォーマンスを維持するためには、地上となるべく近い食生活を送ることが望まれている。

災害時にも同じことがいえ、制約・ストレスの多い被災生活の中で少しでも元気を出して生活し、必要な活動を行うためには、できる限り食生活も日常に近い内容である必要がある。その際、電気やガス、水の使用等に制限があるため、同様な制約の中で宇宙飛行士の食生活を充実させる努力を行ってきた宇宙食の開発・運用の経験が生かされる余地がある。

宇宙食の経験・仕様を災害食に活用することにより、災害対応の食がより災害関係者のニーズに沿ったものとなること、衛生面や安全性等の条件が厳しい宇宙食の基準も盛り込んだ食品ということで消費者が安心して災害食を購入・備蓄する動機を与えること、栄養成分などの点で通常の食品やこれまでの非常食よりも健康に配慮した仕様となることを目指す必要がある。今後、コスト面での問題もクリアされて、こうした災害食の普及が進み、災害時のみならず平時にも活用されることを通じて、国民の健康の維持・増進にも貢献することを期待したい。

キーワード：宇宙食，災害食，健康維持，災害，食料備蓄

1 はじめに

隔離・閉鎖された宇宙船内において、長期間に渡って不便な生活を強いられる宇宙飛行士にとって食事は大きな楽しみのひとつである。国際宇宙ステーション（ISS）では、2015年には1回の宇宙滞在期間の上限が従来の2倍（1年間）に延長されようとしており¹⁾、宇宙飛行士の心身の健康を維持する上での宇宙食の重要度も増している。

宇宙食は、宇宙飛行士の健康を維持するために必要な栄養成分を含む以外に、微小重力の環境でも飲食することが容易であること、そのままの状態、あるいは宇宙船に装備した加温器または注水・注湯

器のみの利用で飲食できること、常温での保存が可能であること、食中毒等を起こすリスクが限りなくゼロに近いこと、さらには火災等の際に人体に有害なガスを出さないこと等の条件を満足する必要がある。そのため、宇宙食は地上用の食品とは出自の違う「宇宙環境専用の特殊な食品」として進化してきた。また、宇宙飛行士は地上で普段から食べている食品、子どもの頃から慣れ親しんでいる食品を宇宙でも一番食べたいと希望しており、こうした心情は、地上において地震などの災害が発生した場合の被災者にも共通する点があると思われる。

宇宙食と災害時の食には共通する点が多い。例えば、災害時は一時的に水や食料を備蓄品で賄わなくてはならない、電気やガスなどのインフラが停まり

調理ができない、あるいは制限される点も、宇宙飛行士が晒される環境と似ている。

従来の「非常食」と言われる食品は、保存性の良さ、保存期間の長さを重視した食品が主流であるが、災害発生後のニーズに配慮した「災害食」の開発・普及が提案されている²⁾。非日常的な環境下でのストレスを少しでも軽減するためには、できるだけ日常の食品が食べられる環境を用意することは極めて重要である。非常食ならびに災害食に関する動向については、2012年3・4月号にて取り上げた。

今後大規模な地震の発生および被災期間の長期化が懸念される中、本稿では、栄養成分のバランスや、喫食性、多様性等が考慮された宇宙食の開発・

運用の経験を「災害食」に活用する検討を行う。

2 宇宙食と災害食の比較

宇宙食と災害食の比較を図表1に示す。微小重力環境であるがゆえの摂食性に関する条件や、限られた閉鎖空間に長期間滞在するための、「パッケージから有害ガスが発生しないこと」等の要求を別にすれば、宇宙食と災害食に要求される条件（仕様）には類似点が多い。

図表1 宇宙食と災害食の比較

	テーマ	類似点	宇宙食	災害食
前提条件	定義		宇宙滞在中に、宇宙飛行士が心身の健康のために摂取する食品	災害発生後、被災地での生活、活動者の心身を健康に維持するために摂取する食品
	想定利用者		宇宙飛行士	①救出、復旧従事者 ②一般被災者 ③特殊食品が必要な要援護者(乳幼児、嚥下障害者、アレルギー患者等)
	利用者数		数名	東日本大震災 最大47万人 首都直下地震(想定) 最大720万人 南海トラフ地震(想定) 最大950万人
	環境		宇宙空間(微小重力、温湿度ほぼ一定)	被災地(季節を問わない)
	調達の計画性		計画的	計画性に乏しい
必要機能	目的	○	心身の健康維持(栄養、楽しみ)	心身の健康維持(栄養、楽しみ)
	調達法		補給船で定期的に地上から運搬	①災害に備えて家庭、企業、自治体が備蓄 ②発災後、被災地外から調達し運搬
	利用期間 短い場合		1960年代はチューブ入りなど	3日間生き延びるための非常食
	利用期間 長い場合	○	滞在全期間(ISSでは半年)	通常の生活に戻るまでの災害食(数か月)
	微小重力環境下での摂取機能		必要	不要
	長期保存性	○	必要(1年以上)	ある程度は必要(1.5年以上か)
	利用シーン		基本的に宇宙滞在中のみ (地上では搭載品を決めるための試食のみ)	災害時及び平時
	健康を考慮した栄養成分	○	必要	必要
	包装資材の条件	○	強靱性(含減圧環境)、コンパクト性	強靱性、コンパクト性
	安全性(包装資材)		燃焼時の有害ガス発生なし	不要
	安全性(食品)		HACCP(※)又は同等の管理必要	必要
	食器不要の工夫	○	必要	必要
	表示(栄養成分)		不要	必要
	価格		高価(少量生産のため)	高くない工夫が必要
	喫食前の処理	○	食品によって異なる ①そのまま食べる ②加温器で温めて食べる ③注湯器でお湯を入れて食べる	ステージが変化する ①第一ステージ そのまま食べる ②第二ステージ お湯を沸かして注湯するか湯煎して食べる ③第三ステージ 調理する
	規格・基準	○	ISS FOOD PLAN 宇宙日本食認証基準 宇宙日本食調達基準	必要

※：危害分析に基づく重要管理点 (Hazard Analysis & Critical Control Point: HACCP)

出典：科学技術動向研究センターにて作成

一方で宇宙食は試食を除いては日常（地上）で食べることは想定されておらず、災害食は日常（平時）でも使用することが望ましいこと、宇宙食は少量生産のため必然的に高コストになってしまうのに対して、災害食は、大量生産ができ、できるだけ安価であることが求められるという運用上の相違もある。

3 宇宙食の条件・種類・現状

3-1 宇宙食の条件

一般的に宇宙食は以下の条件を満足する必要がある。

(1) 栄養の補給

長期宇宙滞在に必要なとされる栄養成分要求量³⁾と地上における基準（厚生労働省）⁴⁾の比較を図表2に示す⁵⁾。★は宇宙飛行士と日本人成人への要求値が大きく異なる項目である。全般的には大きな違いはないが、前者は、窓が少なく日光に当たる機会が少ないために不足しがちなビタミンD、高放射線環境にさらされることを考慮して抗酸化作用があると言われるビタミンE、骨粗しょう症予防に関係するカルシウム、加工食品を多く食べる人は多めに摂取することが望ましいといわれるセレンやクロムの要求量が多いこと等が特徴である。

(2) 長期保存が可能であること

ISSへの物資の補給は数か月に1度程度しか行われないことから、宇宙食は常温で少なくとも製造後1年以上保存できることが必要である。最近では1.5年～2年の賞味期間を有するものが多い。

(3) 食品としての安全性が高いこと

ISS上では、食中毒などの事態になるリスクを極力下げる必要があり、HACCP（危害分析に基づく重要管理点）またはそれに準じた衛生管理が求められる。

(4) 容器包装の安全性が高いこと

人体に有害なガスが宇宙食のパッケージから発生しないこと、の確認試験を行うことが求められる。また、原則として火災発生時に火勢を強めるような燃えやすい材料も使えない。

(5) 微小重力等の環境への対応

ISS内は微小重力環境であり、物品の固定にはベ

ルクロ（マジックテープ）が用いられる。宇宙食もベルクロでテーブルや壁などに固定し、食品は容器にスプーンやフォークなどを入れて粘着させてから直接口に運んで食べる必要がある。従って、粉末状の食品はそのままでは宇宙食にできない。また、液体またはそれに近い状態の食品は、密閉した専用容器に入れてストローで飲むか、食品にある程度の粘り気を追加するなどの処置が必要になる。

固体と液体が混在する食品（例えばスープ麺）では、より一層の工夫が求められる。また、容器包装は輸送時や宇宙飛行時にさらされる可能性のある低・高温や低圧・高圧環境に耐えられる必要がある。

(6) 調理装置への対応

ISSのフードギャレー（食堂）には加温器と注湯・注水器という2種類の簡易的な調理装置が設置されている。前者は食品を挟み込んで電気ヒーターで約80℃まで温める装置であり、後者は約80℃のお湯を宇宙食の注入口から25 mL単位で注入する機能を持つ。宇宙食はこの調理装置を用いて調理するか、あるいはそのままの状態を食べられる必要がある。

3-2 宇宙食の種類

宇宙食は製法や形態等から図表3のように分類することができる。

フリーズドライに代表される加水食品と、レトルト食品に代表される温度安定化食品が多い。現在のISSには尿を含む水分のリサイクル装置が装備されており、ISS内で使用した水の9割以上がリサイクルされ、飲料水や宇宙食の加水用としても用いられている。物資のISSへの打上げには1 kg当り数百万円かかるため、水分を抜いて軽くした加水食品は打上げコストの面でメリットが大きい。

3-3 各国の宇宙食

ISSには全搭乗員のための16日分をセットとして用意される標準食と、個々の宇宙飛行士の希望を踏まえて用意するボーナス食があり、図表4に示すように、標準食は米国（NASA）とロシアが原則として50%ずつ用意している。ボーナス食については、NASA、ロシアの宇宙食以外に、各国が用意する宇宙食の中からも選ぶことができる。

図表2 宇宙食の栄養要求(NASA)と日本人の食事摂取基準(厚生労働省)の比較(1日当たり)

栄養項目		単位	1年以上の宇宙飛行に要求される所要量	日本人の食事摂取基準 2010年版 (FY22～FY26用)		条件等	備考(含人体への作用)
				男性	女性		
エネルギー		Kcal	男性: 2,845 女性: 2,064	2,650	2,000	30～49歳、 体重68.5kg(男) 53.0kg(女) 身体活動レベルII の場合	宇宙飛行士のカロリーは以下の式に左記の体重を入力して計算 男性: 18歳-30歳 $1.7 \times (15.3 \times \text{体重} + 679)$ 30歳-60歳 $1.7 \times (11.6 \times \text{体重} + 879)$ 女性: 18歳-30歳 $1.6 \times (14.7 \times \text{体重} + 496)$ 30歳-60歳 $1.6 \times (8.7 \times \text{体重} + 829)$ 体重: kgで入力
たんぱく質	NASA::% 厚労省:g		総エネルギーの 12～15	60 (約9% *1)	50 (約10% *1)	30～49歳の推奨量	人体の主要な構成要素 *1: 1gを4Kcalとして計算。
脂質		%	総エネルギーの 30～35	総エネルギーの 20以上、25未満		30～49歳の目標量	生体膜の成分、エネルギー貯蔵、体温を保つための断熱材、皮膚の保護、代謝活性を抑制するホルモンの前駆体
飽和脂肪酸	J	%		総エネルギーの 4.5以上、7.0未満		18歳以上の目標量	エネルギー源、LDLコレステロールの増加
n-6系脂肪酸	J	%		総エネルギーの 10未満		18歳以上の目標量	プロスタグランジンの前駆体となる
n-3系脂肪酸 (DHA,EPA)	J	g		2.2以上	1.8以上	30～49歳の目標量	抗血栓作用、心筋梗塞防止効果
コレステロール	J	mg		750未満	600未満	18歳以上の目標量	虚血性心疾患と関係
炭水化物		%	総エネルギーの 50	総エネルギーの 50以上、70未満		18歳以上の目標量	糖質と食物繊維の総称、主要なエネルギー源
食物繊維		g	10～25	19以上	17以上	18歳以上の目標量	生活習慣病の発症に関連
水分	N	ml	エネルギー1kcal 当たり 1.0～1.5				
ビタミン(脂溶性)							
A		μg	1000	850	700	30～49歳の推奨量	視覚機能調節と深い関係
D		μg	10	5.5		18歳以上の目安量	骨の形成や発育に関係、日光に当たると人体内で合成
E	★	mg	20	7	6.5	18歳以上の目安量	抗酸化作用があるとされ、過酸化脂質の生成を抑制
K		μg	80(男性) 65(女性)	75	65	30歳以上の目安量	血液凝固作用の維持やカルシウムの代謝促進による骨生成支援作用など
ビタミン(水溶性)							
B1 (チアミン)		mg	1.5	1.4	1.1	30～49歳の推奨量	糖質分解時の補酵素
B2 (リボフラビン)		mg	2	1.6	1.2	30～49歳の推奨量	エネルギーの代謝促進
ナイアシン		mg	20	15	12	30～49歳の推奨量	各種の酵素の補酵素、アセトアルデヒドの分解
B6		mg	2	1.4	1.1	18歳以上の推奨量	アミノ酸の代謝に関与
B12		μg	2	2.4		18歳以上の推奨量	赤血球の生成に関係
葉酸		μg	400	240		18歳以上の推奨量	核酸の生成支援 妊婦は葉酸接種で胎児の神経管閉鎖障害リスク低減
パントテン酸		mg	5	5		30～49歳の目安量	糖質・脂質の代謝に関与
ビオチン (ビタミンH)	★	μg	100	50		18歳以上の目安量	糖質・脂質・タンパク質の代謝に関与
C		mg	100	100		18歳以上の推奨量	抗酸化作用
ミネラル(多量)							
Na (ナトリウム)		mg	3500未満	食塩相当量 9.0g未満 *2	食塩相当量 7.5g未満 *2	成人目標量	筋肉、神経の興奮性の抑制、細胞外液の浸透圧の安定 *2: 食塩相当量の9.0g、7.5gは食塩に換算すると、それぞれ、3543mg、2953mgに相当
K (カリウム)		mg	3500	2500	2000	30～49歳の目安量	神経機能、筋肉機能の調整、細胞内液の浸透圧の調整、高血圧の予防効果あり
Ca (カルシウム)		mg	1000～2000	650		30～49歳の推奨量	骨、歯などの固い組織の成分となる、血液の凝固作用に関係、心筋の収縮作用の強化
Mg (マグネシウム)		mg	350(男性) 280(女性)	370	290	30～49歳の推奨量	筋肉の興奮性に関与
P (リン)		mg	1000～2000	1000	900	18歳以上の目安量	骨・歯などの成分、リン脂質、核酸の成分、ATPを作りエネルギーの貯蔵
ミネラル(微量)							
Fe (鉄)		mg	10	7.5	6.5(月経なし) 11.0(月経あり)	30～49歳の推奨量	赤血球やミオグロビンとして酸素を各組織に運搬
Zn (亜鉛)		mg	15	12	9	30～49歳の推奨量	各種の酵素の構成成分
Cu (銅)		mg	1.5～3.0	0.9	0.7	30～49歳の推奨量	ヘモグロビンの合成に必要、活性酸素を無毒化する酵素の成分
Mn (マンガン)		mg	2.0～5.0	4	3.5	18歳以上の目安量	各種の酵素の作用を活性化
I (ヨウ素)		μg	150	130		18歳以上の推奨量	甲状腺ホルモンの原料
Se (セレン)	★	μg	70	30	25	18歳以上の推奨量	抗酸化作用を持つ酵素の成分
Cr (クロム)	★	μg	100～200	40	30	30～49歳の推奨量	糖質の代謝等に関与
Mo (モリブデン)	J	μg		30	25	30～49歳の推奨量	各種の酵素の補酵素
F (フッ素)	N	mg	4				骨や歯のエナメル質の成分

J:厚労省のみ要求の項目 N: NASAのみ要求の項目 ★: 厚生省とNASA要求が2倍以上異なる項目

出典: 参考文献3、4を踏まえ科学技術動向研究センターにて作成

図表3 宇宙食の種類

番号	名称	説明
1	加水食品	水又はお湯を加えて戻してから食べる食品。凍結乾燥(フリーズドライ)食品がその代表。熱風乾燥やスプレードライ(噴霧乾燥)などもある。
2	温度安定化食品	高温・高圧下で殺菌調理を行った食品で、レトルト食品と缶詰が相当する。
3	放射線照射食品	ガンマ線などの放射線により殺菌を行った食品であり、主に肉料理の風味をあまり変えたくない場合などに使用。
4	中間水分食品	半乾燥の状態で長期保存可能な食品で、ドライフルーツが代表例。
5	自然形態食品	特に追加の殺菌等を行わず、長期保存ができる食品。キャンディやナッツ類が代表例。
6	調味料	塩、こしょう、ケチャップ、マヨネーズなど。
7	生鮮食品	オレンジやリンゴなどの果物やニンジン、セロリなどの野菜など。保存性が低いので、打上げ後短期間で食べきる必要がある。

出典：科学技術動向研究センターにて作成

図表4 ISS用宇宙食の種類

提供国(機関)	提供品目	標準食	ボーナス食	提供内容
米国(NASA)	約200	○	○	ISSの標準食として、定期的にISSに供給。飲み物、主菜、スナック、デザートなど約200種類のメニューを用意している。肉などの殺菌のために放射線照射を行う食品がある。
ロシア	約100	○	○	ISSの標準食として、定期的にISSに供給。メニューは約100種類。魚料理がNASAよりも多く、NASAにはないミルクもある。NASA宇宙食ではほとんど見られない缶詰が多い。
日本(JAXA)	28	×	○	ISS滞在日本人宇宙飛行士用のボーナス食として、日本人滞在時にISSに供給(28種類のカatalog化完了)。
ESA	不明	×	○	宇宙船内でのイベント用にフランス料理のコース料理(缶詰)を開発して搭載した実績がある。
カナダ	不明	×	○	自国の宇宙飛行士のISS滞在用に、カリブージャーキーやメーブルシロップ入りクッキーを開発し、搭載した。
その他				中国は独自の有人プログラムを進めており、今までに最長15日間宇宙飛行士が宇宙滞在を行った際に、各種の中華料理を開発し、打ち上げたことが報道されている。

出典：科学技術動向研究センターにて作成

3-4 宇宙日本食

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、ISS参加各国が合意した「ISSのための食料供給プラン」および食品衛生法等の食に関する国内法規を踏まえて、宇宙日本食の認証基準⁷⁾／調達基準を制定した。そしてNASAと調整して、宇宙日本食認証基準を満足する食品については、宇宙日本食調達基準に基づく日本国内での検査およびその結果を踏まえた専門家委員会の審査に合格すれば、ボーナス食としてISSに輸送することを可能にした。JAXA標準容器は、それを開発したパッケージメーカーから食品メーカーが購入するが、容器材料からのガスの発生試験などはJAXAに有償で委託することができる。なお、調達時の製造や検査にかかる費用はJAXAが負担するが、認証基準をクリアしているかどうかを評価するための各種微生物検査、栄養成分検査、官能検査(味に問題がないかどうかの確認)、長期保存試験等にかかる費用は食品メーカーの負担である。

NASAやロシアは自ら製造するか、製造を特定の企業等に委託しており、いわば内製といえるが、我が国は食品企業の技術レベルが高いことから、各企業が開発し、各種の証拠書類を整えたものをJAXAが食品関連の専門家の協力を得て認証し、認証した食品の中から調達するというシステムをとっているのが特徴である⁹⁾。

宇宙日本食は、日本人が日頃から家庭で食べ慣れている食品を対象としている。図表6に宇宙日本食のリストを示す。米飯やラーメン等の主食、鯖の味噌煮やレトルトカレー等の副菜(おかず)、お茶、羊羹等、計28品目が認証されている¹⁰⁾。

2009年3月からJAXAの若田光一宇宙飛行士が日本人として初めて4か月半のISS長期滞在を行った時に、宇宙日本食約500個を輸送し、一部は同僚宇宙飛行士と分け合って以来、宇宙日本食はISS滞在の宇宙飛行士に人気が高いと言われている。

2013年、JAXAは宇宙日本食のバラエティや副菜の種類を増すため、新たな食品候補の募集を行った¹¹⁾。

図表5 宇宙日本食の認証基準(概要)

- ・製造設備の設置場所は日本国内であること。
- ・製造設備はHACCP、またはそれに準じた管理を行うこと。
- ・食品の衛生性を確保するため、微生物検査、減圧検査等を行い、所定の基準を満たすこと。
- ・所定の栄養成分分析を行うこと。
- ・9ヶ月間の軌道上運用に足りるだけの保存性があることを確認するため、常温(22±2℃)にて、1年半の保存試験を実施すること。
- ・保存試験後、品質確認のため官能検査(味の検査)を行い、所定の基準を満たすこと。
- ・ゾル状食品(とろみのある食品)については、粘度基準を満足すること。
- ・容器包装が、地上での輸送や宇宙飛行に耐えられることを保証するため、450mmHgでの減圧検査や、±50℃の温度、1000mmHgの環境にさらして問題ないことを確認すること。
- ・認証期間は5年間とする。

出典：参考文献8

図表6 宇宙日本食一覧

区分	認証番号	食品名	種類 (製法)	パッケージ		備考
				内装	外装	
主食	JS001	しょうゆラーメン	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	宇宙専用レシピ
	JS002	シーフードラーメン	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	宇宙専用レシピ
	JS003	カレーラーメン	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	宇宙専用レシピ
	JS004	白がゆ	温度安定化	JAXA R2		宇宙専用レシピ
	JS005	白飯	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	
	JS006	赤飯	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	
	JS007	山菜おこわ	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	
	JS008	おにぎり 鮭	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	
副菜	JF001	サバの味噌煮	温度安定化	自社缶(白塗装のみ)		宇宙専用レシピ
	JF002	イワシのトマト煮	温度安定化	自社缶(白塗装のみ)		宇宙専用レシピ
	JF003	サンマの蒲焼き	温度安定化	自社缶(白塗装のみ)		宇宙専用レシピ
	JF004	レトルトビーフカレー	温度安定化	JAXA指定品		宇宙専用レシピ
	JF005	レトルトポークカレー	温度安定化	JAXA指定品		宇宙専用レシピ
	JF006	レトルトチキンカレー	温度安定化	JAXA指定品		宇宙専用レシピ
汁物	JD001	わかめスープ	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	宇宙専用レシピ
飲料	JI001	粉末緑茶	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	
	JI002	粉末ウーロン茶	乾燥	JAXA指定品	JAXA指定品	
デザート	JD001	黒飴	自然形態	JAXA指定品		
	JD002	ミントキャンディー	自然形態	JAXA指定品		
	JD003	羊羹(小倉)	自然形態	市販品内装	JAXA指定品	
	JD004	羊羹(栗)	自然形態	市販品内装	JAXA指定品	
	JD005	キシリトールガム(ライムミント)	自然形態	自社内装	JAXA指定品	
	JD006	プルーンエキストラクト	自然形態	自社内装	JAXA指定品	
調味料	JC001	トマトケチャップ	自然形態	市販品内装	JAXA指定品	
	JC002	野菜ソース	自然形態	市販品内装	JAXA指定品	
	JC003	マヨネーズ	自然形態	市販品内装	JAXA指定品	
飲料	JK001	野菜飲料ゼリー(トマト)	自然形態	市販品内装	JAXA指定品	
	JK003	野菜飲料ゼリー(リンゴ、ニンジン)	自然形態	市販品内装	JAXA指定品	

出典：参考文献7および参考文献9を基に科学技術動向研究センターにて作成

4 災害対応の食の現状と課題

4-1 東日本大震災における食の問題

東日本大震災においては様々な食の問題が発生している。ここではその一部を紹介する。

東日本大震災の3週間後に日本栄養士会が行なった調査によれば、避難所で提供される食事が炭水化物中心で栄養不足や偏りを招く内容だったことが報告されている^{12,13)}。一方、厚生労働省からは、避難所生活の長期化による栄養不良や体力低下等を踏まえ、被災後3か月頃までの段階で欠乏しやすい栄養素について算定した値が示されている¹⁴⁾。

また、避難所において配布されるおにぎりや漬物が手のひらに直接のせて配布され衛生的でなかったことや、個人のスペースが狭く布団が敷いてあるため、カップ麺を置く場所もなく、高齢者が困っていたこと等が、避難所運営にかかわった栄養士等から指摘されている^{15,16)}。

4-2 食料備蓄にかかる課題

4-2-1 保存量の妥当性

近年は、食品の流通在庫が少なくなる傾向にある上に、大災害発生後は更に、道路の寸断やガソリン不足による輸送困難、食品加工メーカー自体の被災などが同時に発生する可能性があり、被災者への食料供給が十分に行われるまで長期間を要する可能性があることから、家庭や自治体における備蓄の重要性が増している。

内閣府の中央防災会議は、家庭内備蓄や被災都県・市区町村の公的備蓄だけでは食料が不足する地域が発生することを懸念しており、食料の不足量は、発災後1週間に最大で約3,400万食と想定している¹⁷⁾。そして「各家庭や企業に対して最低でも3日分、可能な限り1週間分」の備蓄を求めている。南海トラフ巨大地震は、首都直下地震よりもさらに想定被害が大きいことから1週間分以上の食料備蓄が必要と想定している¹⁸⁾。しかしながらこの分量の食料備蓄を行っている家庭は少なく、備蓄量を増やす方策が必要である。

4-2-2 食料備蓄に関する意識の妥当性

災害がこないことを前提としたかのように、で

きる限り長期保存がきく食品を備蓄し、賞味期限が切れる前に買い直していく方法には以下の問題がある。

- ①めったに買い替える必要がないため、賞味期限が切れる頃には忘れてしまい、買い替え等が行われない恐れがある。
- ②食べ慣れていないため、被災時に食べる時にストレスを高める恐れがある。
- ③保存性が重点で味や栄養が二の次であるため、災害がない場合は、買い替えた時点で、それまでのものは食べられずに廃棄されて、食品ロスを発生させる恐れが強い。

4-2-3 災害対応のための食品選択の妥当性

災害時に必要となる食品は、対象となる人と、災害のステージ、季節、災害の発生場所等に応じて異なり、それぞれに応じた食品を備蓄する必要があるが、現状は保存性の良さに重点がおかれた「備蓄」がメインである。災害時には、健康を守るために必要な要素が考慮された「災害食」の視点が必要である。

5 提言

宇宙食と災害食は共通点が多いため、明らかに共通化すべき点は災害食の規格／仕様に取り込み、現時点で不明な点は取り込むべきかどうかの検討を行う必要がある。主な検討事項を以下に示す。

a. 栄養成分

東日本大震災では避難生活者の血圧が高値で推移し¹⁹⁾、避難生活のストレス、また食生活で塩分摂取量が多いことも、運動不足と共に原因のひとつではないかと推測されているが、その関連性について十分な報告はない。一方、宇宙においても宇宙飛行士の塩分の摂取過剰が問題になっており、NASAは既存の宇宙食の塩分を半分に減らす取り組みを始めている。JAXAも2013年に募集した新しい宇宙日本食の候補については、1パック当たりのナトリウム量が1000mg以下であることを求めている。これは食塩換算で約2.5gに相当し、これを満足する食品を1日3食食べても、日本人男性の現在の基準である1日9g、同女性の7.5gに収まることから、災害食も同レベルのナトリウムレベルを条件とすることも考えられるが、被災生活では宇宙飛行より身体活動レベルが低い傾向にあること、1包装単位

でナトリウムの量を規定すべきかどうか等も検討する必要がある。

また、被災生活では野外活動の制約等により日照が制限される可能性があり、長期に渡ってその生活が続くことを想定し、宇宙食に倣ってビタミンDを補給するかどうか、補給する場合はその方法についての検討が必要である。

さらに避難所において特に不足を回避すべきとされたタンパク質やビタミンB1、ビタミンB2、ビタミンC等について、特段の要求を設けるのかどうかについても検討を行う必要がある。

b. 容器包装のコスト

宇宙食も災害食もパッケージは強靱かつコンパクトで、食器なしに食べられることが求められるという点が共通している。また宇宙食の場合、加水食品にお湯や水を注入する機能を持つパッケージは微小重力環境で飛び散らないようにするため複雑なバルブ機構を有している。このような容器包装への要求に対しても大幅なコストアップとならないような工夫が必要である。

c. 賞味期間

宇宙食は、1年以上（宇宙日本食は1年半以上）の賞味期間が求められている。災害食も基本的にその程度以上の賞味期間を確保できれば、廃棄処分等の問題を軽減できると考えられる。

d. 味に関する官能検査

宇宙食に限らず食品は開発時に、保存試験後、テスターにより官能検査が行われる。これは長期保存を行った後でも品質が変わっていないかどうかを、微生物等の検査だけでなく人の味覚によっても確認するのが主な目的であるが、宇宙食の味に関する基準は地上の食品よりも厳しくなっている。災害食の場合に、官能検査の合格基準をどのレベルに設定すべきかどうかについて検討する必要がある。

e. 食品表示

宇宙食には専用のラベルが貼られることになっており、宇宙飛行士のみが利用するため、表示項目は食品名や賞味期限等、限定的である。一方、災害食は利用対象者および目的に関する表示をわかりやすく行うことによって、備蓄品選定の際の助けになる可能性がある。また、救援物資となった場合に、必要とされる人に迅速に届けられるような工夫等も求められ、通常の法規に基づいたラベル以外に追加するラベルについての検討も必要である。

6 おわりに

ガガーリン宇宙飛行士が人類として初めて宇宙を飛行した1960年代の初めは、錠剤を一粒飲むだけで1日に必要なエネルギーが全てとれるような宇宙食が理想とも言われたが、それは人間の生理になじまず、満腹感が得られない等、宇宙飛行士からの食に対する不満が高まったと言われている。結局は宇宙においても日頃食べ慣れたものが一番おいしく、精神的な満足度を上げることがわかり、種々の制約の中で、できるだけ地上の普通の食品に近いものを実現しようとしてきたのが宇宙食の歴史とも言える²⁰⁾。

災害時にも同じことがいえ、被災生活の中で少しでも元気を出して生活し、必要な活動を行うためには、食生活でもできる限り日常を再現する必要がある。その際、電気やガス、水の使用等に制限があるため、同様な制約の中で宇宙食の開発・運用を行ってきた経験が生かされる余地がある。

宇宙食の経験・仕様を災害食に活用することにより、災害対応の食がより災害関係者のニーズに沿ったものとなること、衛生性や安全性等の条件が厳しい宇宙食の基準も盛り込んだ食品ということで消費者が安心して災害食を購入・備蓄する動機を与えること、栄養成分等の点で通常の食品よりも健康に配慮した仕様となることを目指す必要がある。

今後、コスト面での問題もクリアされて、こうした災害食の普及が進み、災害時のみならず平時にも使われて、国民の健康の維持・増進にも貢献することを期待したい。

謝辞

本稿の執筆にあたり、実践女子大学 田島眞学長、国立健康・栄養研究所 笠岡（坪山）宜代食事摂取基準研究室長、岩手医科大学神経内科・老年科 寺山靖夫教授、宇宙航空研究開発機構有人宇宙ミッション本部宇宙飛行士運用技術部 宇宙飛行士健康管理グループ 松本暁子主任医長、同宇宙日本食担当、日本災害食学会 別府茂副会長を始めとして多くの方より貴重なご意見と情報提供をいただきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) News Release : 12-354 NASA and international Partners Approve Year-Long Space Station Stay、NASA、2012 年 10 月 5 日
- 2) 中沢孝、別府茂 非常食から被災生活を支える災害食へ 科学技術動向 2012 年 3 月 No.128, P.20-34 :
<http://hdl.handle.net/11035/2292>
- 3) 松本暁子、宇宙食の現状と“宇宙日本食”開発の展望 日本栄養・食糧学会誌 第 5 巻第 2 号 2004 年
(NASA : Daily Nutritional Requirements for International Space Station Mission up to 360 days)
- 4) 日本人の食事摂取基準 (2010 年度版)、厚生労働省、2009 年 5 月
- 5) 日本人の食事摂取基準 (2015 年度版)、厚生労働省、2014 年 3 月
- 6) NASA 宇宙食リスト : http://www.nasa.gov/pdf/190537main_Classifying_Space_Food.pdf
- 7) 宇宙日本食認証基準 : http://iss.jaxa.jp/spacefood/pdf/document_a.pdf
- 8) 認証基準概要、JAXA ウェブサイト : <http://iss.jaxa.jp/spacefood/about/outline/>
- 9) 田島眞、宇宙日本食の認証基準 日本食品科学工学会誌第 55 巻、No.5, 203 ~ 208, 2008 年 :
<http://www.jsfst.or.jp/gakkai/60ayumi/60-11.pdf>
- 10) 認証された宇宙日本食、JAXA ウェブサイト : <http://iss.jaxa.jp/spacefood/about/japanese/>
- 11) 宇宙日本食の食品候補リストに基づく食品候補の募集について、JAXA ウェブサイト :
<http://iss.jaxa.jp/spacefood/about/boshu/>
- 12) 笠岡 (坪山) 宜代他 東日本大震災の後、食・栄養改善には何が重要だったのか？
～今後の食支援システム構築を目指して～、日本災害食学会第 1 回研究発表会、2013 年 12 月 :
<http://www.ustream.tv/recorded/43054646>
- 13) Tsuboyama-Kasaoka N, Hoshi Y, Onodera K, Mizuno S, Sako K. What factors were important for dietary improvement in emergency shelters after the Great East Japan Earthquake? Asia Pac J Clin Nutr. 2014; 23: 159-166 :
<http://apjcn.nhri.org.tw/server/APJCN/23/1/159.pdf>
- 14) 避難所における食事提供の計画・評価のために当面の目標とする栄養の参照量について、厚生労働省、2011 年 4 月 :
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001a159-img/2r9852000001a29m.pdf>
- 15) 網谷有希子他、東日本大震災による津波被害地域の保育所と行政の災害対応に関する事例報告、日本災害食学会第 1 回研究発表会、2013 年 12 月 : <http://www.ustream.tv/recorded/43058016>
- 16) 迫和子、網谷有希子、須藤紀子、笠岡 (坪山) 宜代、石川文子、藤沢良知、保育所における災害時の栄養・給食対応に関する研究、保育科学研究、3:33-41 2013 :
<http://www.nippo.or.jp/laboratory/pdfs/kenkyu/vol3/03.pdf>
- 17) 中央防災会議、首都直下地震の被害想定と対策について (最終報告)、2013 年 12 月 :
http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_siry001.pdf
- 18) 中央防災会議、南海トラフ巨大地震対策について (最終報告) 2013 年 5 月 :
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130528_honbun.pdf
- 19) 日本脳卒中学会、「東日本大震災にかかる日本脳卒中学会声明」 STROKE2011、京都 2011 年 7 月 31 日 :
<http://www.jsts.gr.jp/img/seimei.pdf>
- 20) 中沢孝、宇宙食の開発の歴史とこれから、(おいしさの科学 2009 vol.010、食品研究社)、2009 年 10 月

執筆者プロフィール



中沢 孝

科学技術動向研究センター 特別研究員

群馬県出身。大学院修士課程 (専門はマイクロ波アンテナ) 修了後宇宙開発事業団 (2003 年 10 月に統合して、宇宙航空研究開発機構) にてロケット搭載機器の開発や宇宙飛行士訓練設備の整備、宇宙食の開発等に従事。2011 年 6 月より、ライフサイエンス分野の調査・分析、予測調査を担当。趣味はランニング、スクエアダンス。

各国の地球観測動向シリーズ(第8回)

大韓民国の地球観測活動の方向性 —外国技術を導入した継続的な 地球観測衛星利用—

辻野 照久

概 要

大韓民国の科学技術の中で、地球観測は最も重要な分野の一つである。2013年に策定された第3次科学技術基本計画には、気候変動対応力の強化、環境保全・復元システムの高度化、自然災害予防と被害の最小化など、地球観測に関連する課題がいくつか含まれている。このような活動を行うため、韓国は欧州の衛星製造企業の技術を利用し、自国で独自に開発した機器と組み合わせて、極軌道の光学観測衛星・レーダ観測衛星や静止軌道の気象観測衛星を運用している。

同国では、自国の政府関係機関の各種業務にそれらの衛星から得られる画像を利用するだけでなく、海外にも画像の販売や提供を行うことで、国家の国際的地位を高めようとしている。また、欧州の衛星技術の利用により自らの技術力を向上させ、それにより得られた小型衛星開発・製造能力を活用して、大学からスピンオフした衛星製造企業がマレーシア、アラブ首長国連邦、スペインなどの地球観測衛星の製造を受注している。地球観測活動に見られる韓国独自の製造能力や運用能力の実情を把握することにより、韓国の科学技術力の一側面を具体的に評価することができる。本稿では、外国の技術を取り入れて宇宙先進国の仲間入りを目指す韓国の地球観測動向について、概観・分析を行う。

キーワード：未来創造科学部，韓国航空宇宙研究院，KOMPSAT，COMS，サトレック・アイ

1 はじめに

大韓民国（以下「韓国」という。）の宇宙活動の中で、地球観測は打上げロケット開発と並ぶ最も重要なミッションである。自国内での地球観測活動の目的は、農業・災害・海洋・気象・安全保障に関する情報収集や監視の支援であり、例えば農業統計を従来の人手による小規模な現場調査から衛星画像を利用した大規模な調査分析に段階的に切り替えて、人件費の削減や周辺国の調査も実施可能にするなど衛星画像を利用した業務改革が進んでいる。韓国航空宇宙研究院（KARI）は、商業的な画像販売も行う多目的衛星「KOMPSAT」シリーズや、静止気象衛星「COMS」を運用している。また、小型衛星を開

発する能力を持つ大学発ベンチャーのサトレック・アイ社は、マレーシア・アラブ首長国連邦・スペインなどから地球観測衛星の製造を受注している。

韓国は2013年に初めて自国の射場から衛星打上げに成功したが、打上げロケット（KSLV-1）は主要部分をロシアに依存しており、これを発展させる計画がなく、10年以上前に追求していた韓国独自の技術による打上げロケットを開発する方針に逆戻りしてしまった。現在はKSLV-2の開発に注力している。2013年11月に策定された2040年までの宇宙開発中長期計画において、朴大統領は2020年までに独自開発のロケットで月着陸機を打ち上げるという壮大な計画を発表した。このようなロケット開発と同時に、地球観測衛星の継続的な打上げや地球観測データの利用にも力を入れている。

本稿では、欧米の地球観測技術を取り入れて宇宙先進国の仲間入りをを目指す韓国の動向について分析を行う。

2 地球観測政策

韓国の地球観測活動は、農業・森林、気象・気候、災害、海洋、運輸、エネルギー、安全保障などのさまざまな分野で多数の省庁が継続的に衛星画像を利用しており、政府全体として戦略的な取組みが見られる。特に農業・気象・安全保障などの分野では周辺国の状況にも大きな関心を寄せている。

2013年2月に朴槿恵（パク・クネ）政権が発足し、3月には省庁再編成が行われた。従来の教育科学技術部から教育部が分離され、情報通信関係の業務を統合して未来創造科学部が新設された。同年7月に未来創造科学部や気象庁など12部6庁が合同して策定した第3次科学技術基本計画には、5大戦略（High 5）として19分野78推進課題が掲げられている¹⁾。この中には気候変動対応力の強化、環境保全・復元システムの高度化、自然災害予防と被害の最小化など地球観測活動に関連する課題も含まれている。

特に、地球観測衛星の開発と継続的な運用に力を入れており、韓国航空宇宙研究院（KARI）²⁾の予算の半分以上が地球観測衛星と気象衛星に充てられている。また、2007年11月に策定した「宇宙開発ロードマップ」において、2016年までに地球観測衛星の製造技術を獲得し、2020年までに実用的な合成開口レーダ搭載衛星を製造する技術を獲得するこ

とを目標としている。それに先立って外国技術を利用した光学衛星やレーダ衛星の調達により、運用技術の習得・向上を図っているところである。

3 地球観測関係組織

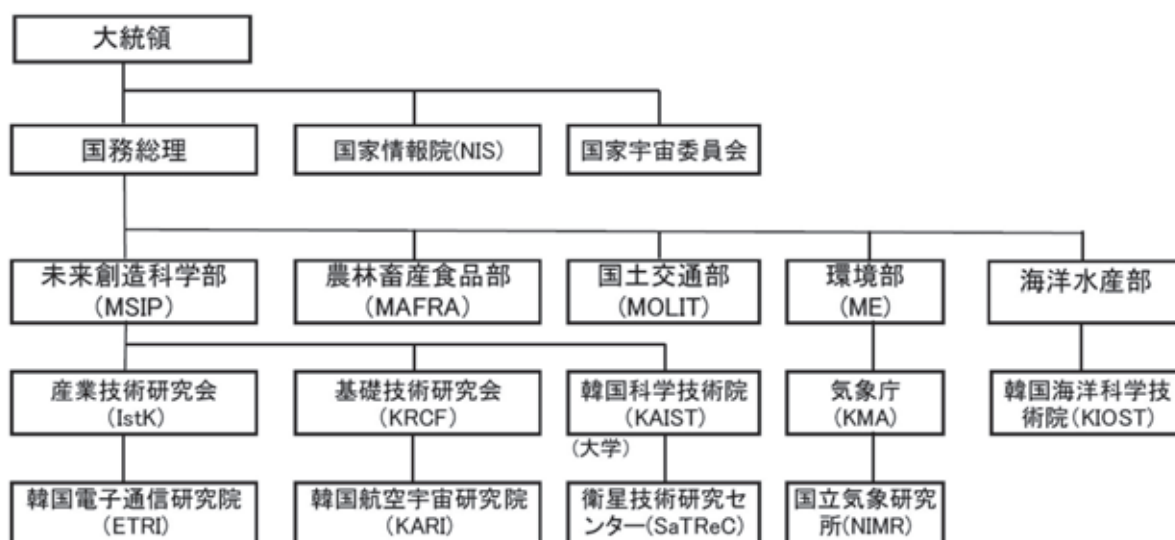
韓国の省庁は2013年に再編成され、未来創造科学部（MSIP）に科学技術全般や情報通信・宇宙開発などの研究組織が集約された。地球観測分野では、衛星の開発をMSIP傘下のKARIが実施し、農林畜産食品部（MAFRA）、海洋水産部（MOMAF）、環境部（ME）、国土交通部（MOLIT）、国家情報院（NIS）などが利用部門となり、利用に関する研究はME傘下の気象庁に属する国立気象研究所（NIMR）やMOMAF傘下の韓国海洋科学技術院（KIOST）などが行っている。

韓国最初の衛星は、MSIPに属する大学である韓国科学技術院（KAIST）³⁾が製作した。図表1に主な地球観測関連組織を示す。

4 地球観測衛星

4-1 韓国の衛星の概況

韓国の地球観測衛星は、現在4機が運用中である⁴⁾。光学衛星とレーダ衛星、極軌道衛星と静止



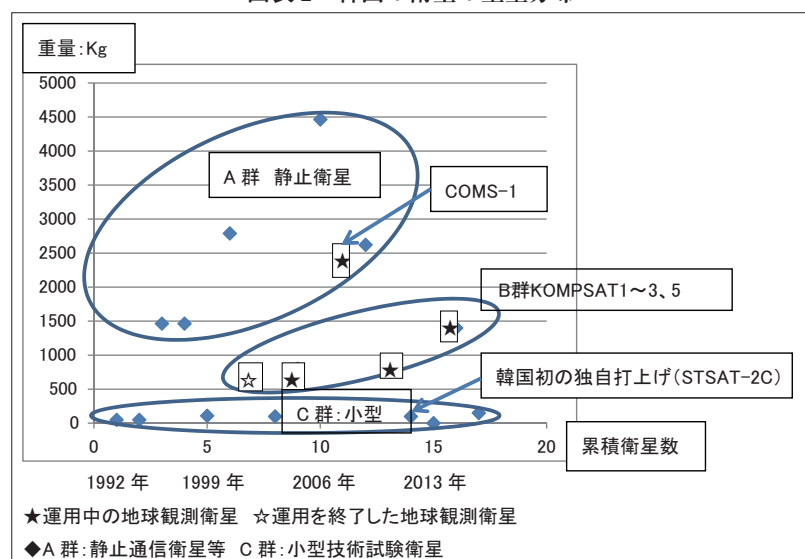
出典：各種資料より科学技術動向研究センターにて作成

衛星があり、フルセットに近いラインアップを有している。極軌道の光学衛星およびレーダ衛星は「KOMPSAT」(アリラン)と呼ばれる。また静止軌道の気象衛星は「COMS」(チョリアン)である。韓国の地球観測衛星の特徴は、最低限の衛星数で幅広いミッションを継続的に実施することが可能となるように戦略的に配備計画を定め、外国製の衛星バスや観測機器に国産の観測機器も搭載するような形で高性能の確保と同時に自国の技術力向上も図っていることである。

2013年末までの累積衛星打上げ数は17機であり、打上げ順に縦軸に重量(kg)をとってプロッ

トすると、図表2に示すように中型～大型サイズの静止通信衛星5機および静止気象衛星の計6機(図のA群)、重量1,000 kg前後の中型サイズのKOMPSATシリーズ4機(図のB群)、1 kg から500 kg 未満の超小型～小型技術試験衛星7機(図のC群)の3グループに分類できる。A群の衛星はすべて外国製であり、韓国はこのクラスの衛星を国産で製造する技術力をまだ有していない。C群の小型衛星は自国のロケット技術や衛星技術を向上させるための技術試験衛星であり、すべて国産である。韓国の地球観測衛星の主力であるKOMPSAT衛星4機はこの中間のB群に属し、国産機器と外国製の機器を組み合わせた衛星である。

図表2 韓国の衛星の重量分布



出典:参考文献4などに基づき科学技術動向研究センターにて作成

4-2 地球観測衛星の打上げ実績と今後の計画

「KOMPSAT」シリーズと「COMS」シリーズについて、韓国がこれまでに打ち上げてきた衛星の概要および今後の打上げ計画を図表3に示す。KOMPSAT衛星は従来は外国技術を利用してきたが、今後は自国の技術により開発し、光学衛星とレーダ衛星を交互に、継続的に打ち上げる計画である。

図表3 韓国の地球観測衛星の打上げ実績と今後の計画

分野	衛星シリーズ名	打上げ年月	センサ	空間分解能	衛星・機器製造機関	重量	運用状況
陸域	KOMPSAT -1	1999 年 12 月	光学	パンクロ 6.6m	KARI、TRW	約 470kg	運用終了
	KOMPSAT -2	2006 年 7 月	光学	パンクロ 1m マルチ 4m	KARI、 Astrium	約 800kg	運用中
	KOMPSAT -3	2012 年 5 月	光学	パンクロ 0.7m マルチ 2.8m	KARI、 Astrium	約 900kg	運用中
	KOMPSAT -5	2013 年 8 月	SAR	1m/3m/20m	KARI、TAS	約 1.4t	運用中
	KOMPSAT -3A	2014 年 予定	光学	パンクロ 0.7m マルチ 2.8m	KARI、 Astrium	未定	開発中
	KOMPSAT -6	2015 年 予定	SAR		KARI		計画
	KOMPSAT -7	2017 年 予定	光学		KARI		計画
	KOMPSAT -8	2020 年 予定	SAR		KARI		計画
	KOMPSAT -9	2022 年 予定	光学		KARI		計画
気象 海洋	COMS-1	2010 年 6 月	光学	可視光 1km 赤外 4km GOCI 500m	Astrium	2,460kg	運用中
	COMS-2A、2B	2017 年 予定	光学		KARI		計画

出典:参考文献2などに基づき科学技術動向研究センターにて作成

4-3 COMS-1の開発と運用

COMS-1⁵⁾は別名を「千里眼（チョリアン：Chollian）」といい、気象観測だけでなく海洋観測や静止通信衛星の国産化に向けた技術実証などのミッションも併せ持つ多目的衛星である。この衛星を保有する KARI は地上局を含む全体システムの開発を総括し、韓国電子通信研究院（ETRI）が通信機器およびコントロールシステムを、国立気象研究所が気象観測データ処理システムを、韓国海洋研究所（Korea Institute of Ocean Science and Technology: KIOST）が海洋観測データ処理システムを開発した。これらはいわば周辺システムであり、衛星機能の中心となる衛星バスや気象観測用撮像装置（Meteorological Imager：MI）・静止海色撮像装置（Geostationary Ocean Color Imager：GOCI）など衛星技術の中核部分はエアバス社（旧 EADS Astrium 社）が開発し、アリアン 5 型ロケットにより静止トランスファ軌道に投入された。

COMS の海洋観測ミッションは、朝鮮半島周辺海域の環境監視や漁業支援、海洋生態系の時間的変化の監視などである。静止軌道から海色イメージャでクロロフィルを観測する衛星は世界でも初めてであり、韓国が欧州の技術を用いて気象衛星にこのようなミッションも持たせていることは注目に値する。

5 地球観測の応用事例

韓国における地球観測応用は、他の国とそれほど変わりはない。本稿では、農業統計での衛星画

像利用における事例を中心に、気象衛星の運用体制、海外への衛星輸出事例などについて紹介する。

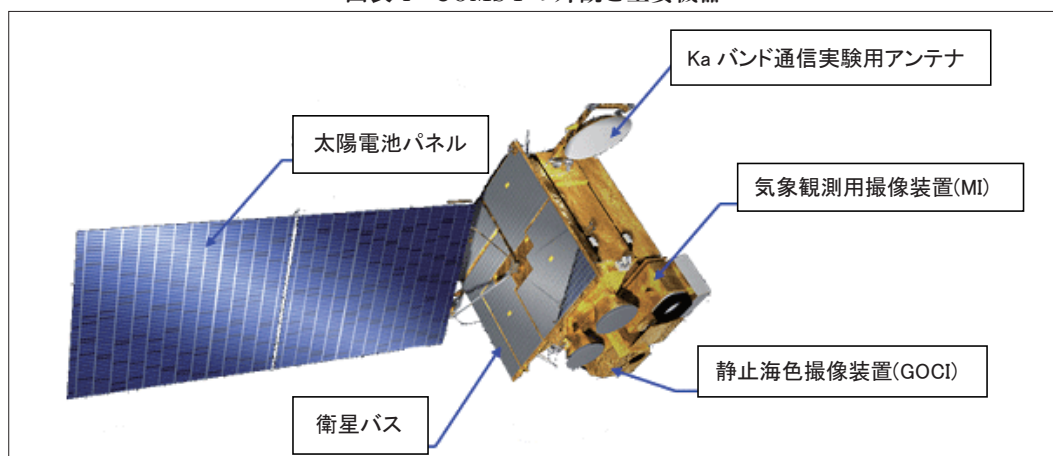
5-1 農業統計における衛星画像利用

韓国統計庁は農業統計の精度向上や人件費削減などの効果をもたらす衛星画像利用を、段階的に拡大してきた。統計庁が 2010 年に策定した「人工衛星を活用した農業統計の作成」⁶⁾によれば、韓国が衛星画像を利用して農業統計の近代化を図るうえで参考にしたのは、米国・欧州の農業統計における衛星画像利用状況である。1980 年代からの米国の動きはもちろんのこと、1990 年代からは欧州連合（EU）が衛星画像利用により欧州全域の食糧生産の把握を行っていることにも注目している。

1999 年に打ち上げられた韓国の「KOMPSAT-1」衛星では、まだ農業統計に利用できるほどの分解能が得られなかったが、2006 年に空間分解能 1m の「KOMPSAT-2」（アリアン 2 号）を打ち上げたことで、米欧の動向を参考にして農業統計への衛星画像利用を本格化させる推進計画を策定した。そして、耕地面積調査、栽培面積調査、生産量の推定を行うために衛星画像データが活用されている。また、対象とする作物の種類を段階的に増加させ、衛星画像の活用を拡大している。最初は大豆だけが対象であったが、現在は大麦・野菜・果物など 20 品目以上に拡大している。

衛星利用がもたらす業務上の効果としては、効率的な調査手法により所要時間が短縮されることや、統計の精度が向上することなどが挙げられている。また、予算上の効果としては、衛星画像を利用しない場合に必要となる調査員の人件費や旅費等で毎年 50 億ウォンの経費節減が可能と試算している。

図表 4 COMS-1 の外観と主要機器



出典：参考文献 4 を基に機器名などを和訳

5-2 気象観測体制と独自衛星利用

韓国気象庁⁷⁾は環境部の傘下に位置し、その業務は自然災害から国民の生命と財産を保護し、経済活動を支援する一環として、国家の共同繁栄を増大させることと定義されている。地上および海上の大気中の気象現象を観測、分析して天気予報を行い、また警報を発令し、気候統計資料や産業気象資料を提供する。さらに、国内および海外の機関と気象データや情報を交換し、研究調査や技術開発活動に取り組むとともに、国際協力を推進している。天気予報や技術研究を行う本部の他に、国立気象研究所(National Institute of Meteorological Research: NIMR)、韓国航空気象局、5つの地方気象庁で構成され、97か所の気象観測所と4か所の上層圏観測所などがある。

韓国は長年にわたって我が国の気象衛星「ひまわり」の画像データを無料で受信し利用してきたが、2010年に世界で7番目(米国・ロシア・欧州・日本・中国・インドに次ぐ)となる独自の気象衛星COMS-1(Communication, Ocean and Meteorological Satellite-1)を打ち上げた。

韓国はCOMS-1の気象画像情報を自国の気象業務に利用するだけでなく、東南アジア諸国にも提供している。このような活動は宇宙開発・利用分野における韓国の国際的地位を向上させることに寄与している。

5-3 外国の地球観測衛星の製造

韓国科学技術院(KAIST)は、未来創造科学部に属する韓国で最もレベルの高い科学技術大学である。英国のサリー大学から生まれたベンチャー企業の衛星技術を導入して、1992年に韓国最初の衛星「KITSAT-1」をアリアン4型ロケットにより打ち上げた。KAISTには、1989年に宇宙技術・アプリケーションの研究を実施する研究センターとして設置された衛星技術研究センター(Satellite Technology Research Center: SaTReC)⁸⁾がある。SaTReCでは、学生に対し衛星エンジニアリング、宇宙科学、リモートセンシング等の研究プログラムを通じた教育や訓練を実施している。SaTReCからスピノフしたサトレック・アイ(SaTReC I, IはInitiativeの略)社は、100 kgから300 kgの小型衛星バス(SI-100、SI-200、SI-200E)や衛星搭載観測機器、地上局設

備などの技術を保有している。同社が製造した小型地球観測衛星は、マレーシアの小型地球観測衛星「RazakSat」(2009年7月14日打上げ)や、アラブ首長国連邦(UAE)ドバイ首長国の小型地球観測衛星「DubaiSat-1」(2009年7月30日打上げ)およびDubaiSat-2(2013年11月21日打上げ)など3機あり、いずれも衛星の軌道投入に成功した。相手国から見ると、韓国は単に衛星の製造を行っただけでなく、マレーシアやUAEの技術者の教育訓練とパッケージになっており、人材育成にも寄与したと評価されている。

2014年に打上げ予定のスペインのDeimos-2もサトレック・アイ社が製造した。打上げはウクライナ製のドニエプルロケットを用いてロシア領内のヤスヌィ射場から行われる予定であるが、クリミア編入の影響により実施時期が不透明になっている。

6 おわりに

韓国の地球観測活動はまだ欧米に匹敵するほどのレベルではないが、国家から高い優先順位を与えられており、KOMPSATの高分解能画像やCOMSの多目的利用などさまざまな工夫が見られ、そのレベルは着実に高まっている。我が国はKOMPSAT-3を種子島宇宙センターから打ち上げるなど韓国の地球観測体制整備に貢献している。過去には気象観測における衛星利用で韓国は我が国の気象衛星「ひまわり」の画像を利用していたが、COMSを保有したことにより現在は自立性を高めている。

我が国でも韓国が推進しているような農業統計調査における衛星画像利用で同様な効果が得られるかどうかの本格的な検討が行われることが期待される。農業統計に限らず、韓国の地球観測活動には、防災や安全保障の役割が合わせて期待されており、このような海外における地球観測画像利用状況を参考にして、我が国における地球観測活動の一層の高度化やすそ野の拡大に努めるべきである。

本稿を執筆するに当たり、在韓国日本大使館勤務経験のある文部科学省研究振興局基礎研究推進室の岩渕秀樹室長および内閣府宇宙戦略室の原田大地参事官補佐に韓国の状況を知悉した立場からの討議や助言をいただいた。ここに厚く感謝します。

参考文献

- 1) 科学技術・イノベーション動向報告 韓国編～2013年度版～、科学技術振興機構、2014年3月
- 2) KARIのウェブサイト（韓国語）：<http://www.kari.re.kr/>
- 3) KAISTのウェブサイト：<http://www.kaist.edu/html/en/>
- 4) UCS Satellite Database、Union of Concerned Scientists、2014年2月1日：
http://www.ucsusa.org/assets/documents/nwgs/UCS_Satellite_Database_2-1-14.xls
- 5) 韓国気象庁のCOMSのページ：http://nmsc.kma.go.kr/html/homepage/en/chollian/choll_info.do
- 6) 인공위성을 활용한 농업통계 생산（人工衛星を活用した農業統計の作成）、韓国統計庁、2010年12月13日
- 7) 韓国気象庁のミッションとビジョン（日本語版ウェブサイト）
- 8) SatRecのウェブサイト：<http://satrec.kaist.ac.kr/>

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。趣味は全世界の切手収集。大韓民国は約2,800種類を保有。