

## 6 インド

### 【要 旨】

インドにおける宇宙開発の大きな特徴は、宇宙空間を社会・経済開発のための社会インフラを展開する新しい場と位置付け、宇宙開発を行ってきたことである。この結果、現在のインドは世界でも有数の規模の通信衛星群及び地球観測衛星群を保有するに至った。

しかし、近年、インドの宇宙開発には幾つかの変化が生じている。その第1は宇宙開発の商業化であり、1992年にアントリックス社を設立して人工衛星打上げから実利用に至るまで幅広いサービスを提供している。第2に、安全保障目的の宇宙利用が活発化する傾向が見られる。特に中国による2007年の人工衛星破壊実験は、インドの宇宙安全保障に関する考え方に大きな影響を与えたと見られる。第3に、これまで重視されてこなかった月・火星探査などの宇宙科学研究が活発化している。

今後もインド経済の発展が進むにつれ、宇宙開発の規模及び範囲は拡大することが予想される。

## I インドの宇宙開発体制と宇宙利用—「社会インフラ」としての宇宙—

### 1 宇宙開発体制

インドは1975年に旧ソビエト連邦（以下「ソ連」という。）のロケットを使用して初の人工衛星打上げを行い、1980年には国産ロケットSLV (Satellite Launch Vehicle) による人工衛星打上げにも成功した。これは自国ロケットによる人工衛星打上げとしては世界で7番目となる。現在、インドは極軌道衛星<sup>(1)</sup> 打上用のPSLV (Polar Satellite Launch Vehicle) ロケット及び静止衛星<sup>(2)</sup> 打上用のGSLV (Geosynchronous Satellite Launch Vehicle) ロケットを保有している。GSLV ロケットについては、従来型のGSLV Mk.I型の打上能力を強化したGSLV Mk.IIロケットが2014年から運用されているほか、静止軌道に対して4トンの打上能力を有する新型のGSLV Mk.IIIロケットを開発中である(表1)。

インドの宇宙開発体制について図に示す。このうち、中心的な役割を果たすのは、1969年に設立されたインド宇宙研究機関 (Indian Space Research Organisation: ISRO) である。ISROは2015年時点で15,656人の人員<sup>(3)</sup> を有し、インド最大の宇宙機関としてロケットや人工衛星に関する研究・開発・製造・運用能力を持つ(ロケットは液体推進システム・センター、人工衛星はISRO人工衛星センターが開発・製造を担当)。ISROのように宇宙機関自身がロケットや人工衛星の製造まで実施している例は世界的に見ても珍しい。

1972年には、宇宙庁 (Department of Space: DOS) が設置された。宇宙庁は宇宙政策や予算を策定する宇宙政策の監督官庁であり、前述のISROのほか、商業宇宙サービスを担う国有企業で

\* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は、2017年2月10日である。

(1) 北極と南極の上を南北に通過する軌道で地球を周回する人工衛星。

(2) 赤道上を地球の自転と同じ速度で周回する人工衛星で地上からは静止して見える。

(3) 人員数は以下の資料による。“Annual Report 2015-2016,” p.119. Indian Space Research Organisation website <<http://isro.gov.in/annual-report-2016-english>>

表1 主要ロケットの打上能力

ロケット	打上能力 (トン)		用途	初打上げ
	低軌道*	静止トランスファ軌道**		
PSLV	1.75***	1.425****	極軌道衛星打上用	1993年
GSLV Mk.II	5	2.5	静止衛星打上用	2010年
GSLV Mk.III	8	4	静止衛星打上用	2014年 (開発中)

\* 低軌道とは、高度2,000キロメートル以下の地球周回軌道をいう。

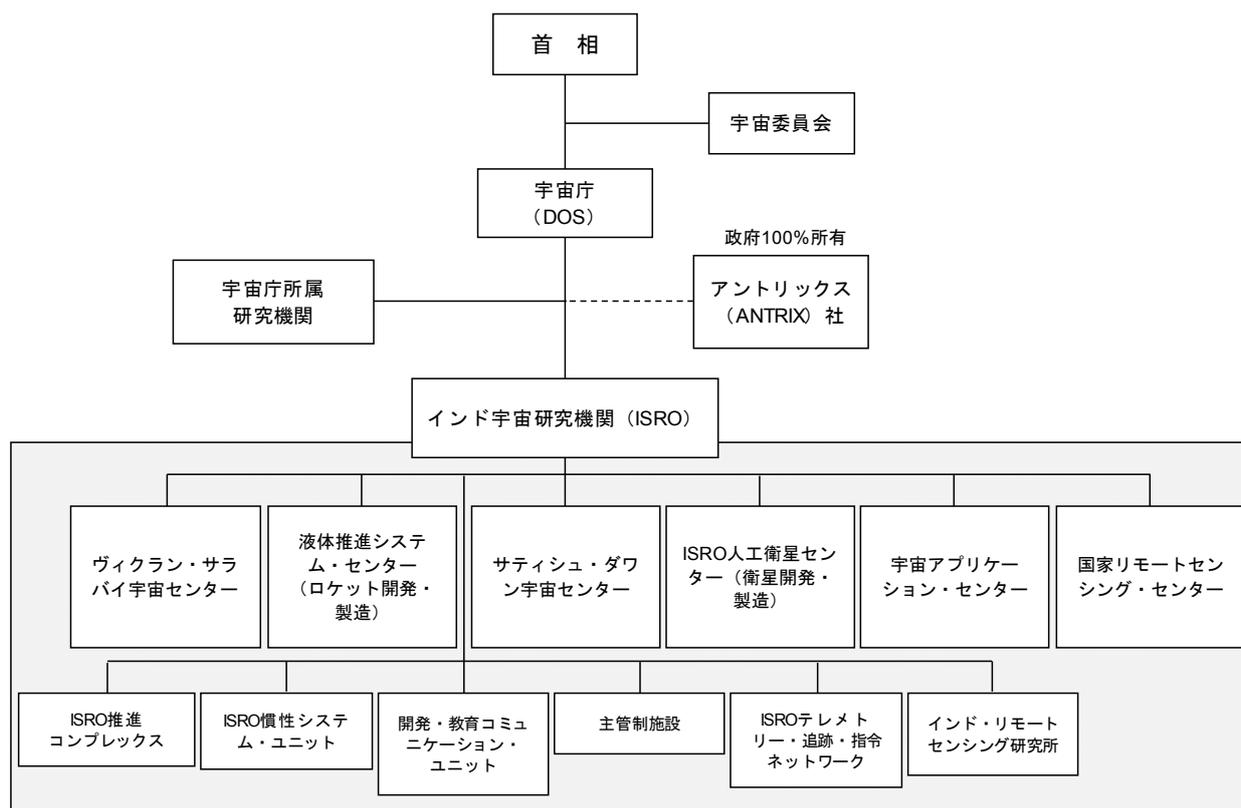
\*\* 静止トランスファ軌道 (Geostationary Transfer Orbit: GTO) とは、静止衛星を静止軌道に投入する際に一時的に使用される軌道をいう。楕円軌道の一つであり、近地点は高度200キロメートル程度の低軌道、遠地点は高度36,000キロメートルの静止軌道付近となる。遠地点が静止軌道よりも低い場合はサブ静止トランスファ軌道 (Sub-GTO: SGTO) と呼ぶ。

\*\*\* 太陽同期極軌道に打ち上げる場合。太陽同期極軌道は極軌道の一つであり、地球から見て太陽との位置関係が常に同じとなる軌道。主に地球観測衛星に利用される。

\*\*\*\* サブ静止トランスファ軌道に打ち上げる場合。

(出典) “Polar Satellite Launch Vehicle.” Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/launchers/pslv>>; “Geosynchronous Satellite Launch Vehicle (GSLV).” Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/launchers/gslv>>; “LVM3.” Indian Space Research Organisation website <<http://isro.gov.in/launchers/lvm3>> を基に筆者作成。

図 インドの宇宙開発体制



(出典) “Organisation Structure.” Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/about-isro/organisation-structure>> を基に筆者作成。

あるアントリックス (Antrix) 社<sup>(4)</sup>や各種の宇宙研究機関などに対しても監督権限を有する。ただし、宇宙庁長官が ISRO 総裁を兼任しているため、宇宙庁の傘下機関の中でも ISRO は特別の地位を有する。なお、ISRO 等を含めた宇宙庁全体の予算規模は、2016 年度で 751 億ルピー(約 1419 億円)である<sup>(5)</sup>。

## 2 宇宙政策と宇宙利用をめぐる動向

現在、インドの宇宙計画を規定しているのは、インド全体の国家計画である第 12 次 5 か年計画 (2012 ~ 2017 年)<sup>(6)</sup>であるが、同計画における宇宙計画は、2025 年を達成目標としてその一部を規定するものと位置付けられている。2025 年までの宇宙活動の主要な方向性は以下のとおりである。また、第 12 次 5 か年計画の期間内に予定されている宇宙庁の短期的な目標を表 2 にまとめた。

- ・通信及び航法サービスの強化及び拡大
- ・天然資源管理、気象及び気候変動研究のための先進的な画像取得能力の開発
- ・太陽系及び宇宙をより深く理解するための宇宙科学ミッション
- ・惑星探査ミッション
- ・大型ロケット及び再使用型ロケットの開発
- ・有人宇宙飛行プログラム

インドの宇宙開発における特徴は、米国やソ連のように軍事技術の開発や国際的な威信の獲得ではなく、社会インフラとしての宇宙利用を念頭に置いて進められてきたことである。米国やソ連の場合、ロケット開発は弾道ミサイルに関する技術開発と密接に関係しながら行われたが、インドでは、宇宙開発を推進する ISRO と弾道ミサイル開発に関与していた国防研究開発機構 (Defence Research & Development Organisation: DRDO) の間には目立った組織的關係がなく、むしろ先行する ISRO のロケット技術が後に弾道ミサイル開発に活かされるという経緯をたどった<sup>(7)</sup>。また、宇宙探査や有人宇宙飛行に対する関心も極めて低かったことが指摘されている<sup>(8)</sup>。

例えば、インド政府は ISRO を事務局とする省庁間制度として国家天然資源管理システム (National Natural Resource Management System: NNRMS) を設置し、地球観測衛星による土地利用・水資源利用の管理や地図の作成といった実利用目的での宇宙データ提供を行ってきた<sup>(9)</sup>。NNRMS に観測データを提供するのは ISRO のインド地球観測 (Indian Remote Sensing: IRS) システムと呼ばれる人工衛星群であり、政府が運用する地球観測網としては世界有数の規模である<sup>(10)</sup>。

また、インド政府は現在、軍事通信衛星を含めて 13 機の通信衛星を運用しており、医療施設の不足している農村部での遠隔医療や、広大な国土の全域での通信教育を提供するために使

(4) 「II 1 宇宙利用の商業化」を参照。

(5) “Outcome Budget of the Department of Space Government of India 2016-2017.” Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/sites/default/files/article-files/budget-accounts/outcomebudget2016-2017.pdf>> なお、本稿では 2015 年の年間平均レートに基づき、1 ルピーを 1.89 円として換算した。OECD, “Exchange rates.” <<https://data.oecd.org/conversion/exchange-rates.htm>>

(6) Planning Commission (Government of India), *Twelfth Five Year Plan (2012-17): Faster, More Inclusive and Sustainable Growth*, Volume 1, 2013, pp.264-268. <[http://planningcommission.gov.in/plans/planrel/12thplan/pdf/12fyp\\_vol1.pdf](http://planningcommission.gov.in/plans/planrel/12thplan/pdf/12fyp_vol1.pdf)>

(7) 鈴木一人『宇宙開発と国際政治』岩波書店, 2011, pp.156-157.

(8) 同上

(9) 同上

(10) “NNRMS Remote Sensing: Provide Leadership and Continuity in Earth Observations through an Operational Earth Observation Infrastructure.” NNRMS website <<http://www.nnrms.gov.in/greennnrms/Page.jsp?option=RemoteSens>>

表2 インド第12次5か年計画における宇宙庁の主要達成目標

分野	主な内容
衛星通信プログラム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通信衛星を14機体制とし、軌道上の中継器の合計数を400個に増加させること</li> <li>・新型衛星バス*の実用化</li> <li>・周波数帯の確保</li> </ul>
衛星航法・測位	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GPS補助型静止衛星航法（GPS Aided GEO Augmented Navigation: GAGAN）システムの開発</li> <li>・インド地域測位衛星システム（Indian Regional Navigation Satellite System: IRNSS）の運用開始</li> <li>・衛星航法に関する専門知識開発、ソフトウェア開発、インドの参画によるIRNSS受信機の開発</li> <li>・周波数帯の確保</li> <li>・衛星航法ポリシーの策定</li> </ul>
地球観測システム及び大気科学プログラム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・8回の地球観測ミッションを実施予定（資源、海洋、大気、気候及び環境等の分野について全天候・高解像度の観測を実施）</li> </ul>
災害管理支援	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国家災害管理データベース（National Database for Emergency Management: NDEM）の運用開始</li> <li>・地形測定技術の向上</li> <li>・関連情報及び資料の発信並びに早期警戒システムの運用開始</li> </ul>
宇宙輸送	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GSLV Mk.IIの改良、次世代エンジンの開発、GSLV Mk.IIIロケットの実用化</li> <li>・地上インフラの近代化</li> <li>・再使用型ロケット、有人宇宙飛行、コスト低下、能力向上等に関する技術の開発及び実証</li> </ul>
宇宙科学及び惑星探査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第11次5か年計画において開始された探査計画（月探査機チャンドラヤーン等）の実施</li> <li>・新たな探査計画（火星探査計画、X線天体観測計画等）の実施</li> </ul>

\* 衛星バスは人工衛星の基本機能（電力、通信、姿勢制御など）を正常に動作させるための機器。

（出典）Planning Commission (Government of India), *Twelfth Five Year Plan (2012-17): Faster, More Inclusive and Sustainable Growth*, Volume 1, 2013, pp.264-268. <[http://planningcommission.gov.in/plans/planrel/12thplan/pdf/12fyp\\_vol1.pdf](http://planningcommission.gov.in/plans/planrel/12thplan/pdf/12fyp_vol1.pdf)> を基に筆者作成。

用している<sup>(11)</sup>。

このほか、インドは独自の衛星測位システムであるインド地域測位衛星システム（Indian Regional Navigation Satellite System: IRNSS）を運用している。IRNSSは、静止衛星3機を含む7機の人工衛星によってインド全土及び周辺地域において測位及び計時機能を提供するシステムであり、運用はISROが担当する。2016年4月には全ての人工衛星が軌道に投入され、同年9月から実運用が開始された<sup>(12)</sup>。

このように、インドの宇宙開発は実利用を強く意識したものであるため、まず特定の社会的分野の用途を想定して人工衛星が開発され、衛星情報を利用するために必要な情報処理サービス、地上設備、ソフトウェア等までDOSが総合的に提供するものが特徴となっている。ISROはインド全土に461か所のVRC（Village Resource Centre）と呼ばれる施設を開設しており、上記の土地利用・水資源利用の管理、地図の作成、遠隔医療、通信教育のほか、天気予報や職業能力開発など広汎な分野において宇宙情報を提供している<sup>(13)</sup>。

(11) 人工衛星の保有数は以下の資料による。“UCS Satellite Database,” 2016.6.30. Union of Concerned Scientists website <<http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database>>

(12) “Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS): NavIC.” Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/irns-programme>>

(13) “Village Resource Centre.” Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/applications/village-resource-centre>>

インド政府は、宇宙における民間企業の役割の拡大と並行して、法規制の整備を進めている。2011年には地球観測に関するデータポリシー<sup>(14)</sup>が採択され、IRSシステムが取得した全てのデータはインド政府の所有物となること（ユーザーに対してはデータの利用・加工権のみを付与）や、非政府ユーザーが分解能1メートル以下の衛星画像を取得する場合には、事前に省庁間委員会である高分解能画像許可委員会（High Resolution Image Clearance Committee: HRC）による許可が必要であること（政府機関や、政府機関の推薦を得た民間ユーザーについては不要）などが定められた。

2016年には、内務省が民間の地球観測（人工衛星、航空機等によるものを含む。）を許可制とすること等を定めた地理空間情報規制法（Geospatial Information Regulation Act）案の意見公募を行った。しかし、商業活動の妨げになるとして反対論が強く、法制化のめどは立っていない<sup>(15)</sup>。

また、2015年にはISROが国家宇宙法（National Space Act）案の策定に向けた作業を開始したことが明らかにされた<sup>(16)</sup>。同法案は、民間の宇宙活動への参入を促すとともに、このような活動に関する原則を明確化することを意図したものとされ、2017年中に具体的な法案としての取りまとめを行った後、連邦議会に提出される見込みである<sup>(17)</sup>。

## II インドの宇宙開発を巡る新たな潮流

### 1 宇宙利用の商業化

一方、インドの宇宙開発には、従来と異なる潮流も見られるようになってきた。これは社会・経済開発のための宇宙開発が一定の成果を挙げたこと、経済成長によってインドの国力が増大したこと、中国の宇宙開発が大きく進展したことなどを背景とする複合的なものと考えられている<sup>(18)</sup>。

その第1が、宇宙利用の商業化である。インド政府は1992年、DOSの下に政府が株式を100%所有するアントリックス社を設立し、ISROによる技術開発の成果を国際的に売り込むための取組を開始した。アントリックス社の業務内容は以下のとおりである<sup>(19)</sup>。

- ・衛星通信サービスの提供
- ・人工衛星打上サービスの提供
- ・インド及び外国の地球観測衛星から取得したデータの販売
- ・人工衛星及び人工衛星用システムの販売
- ・宇宙利用用地上施設の設置

(14) “Remote Sensing Data Policy (RSDP - 2011).” Indian Space Research Organisation website <[http://nrsc.gov.in/Remote\\_Sensing\\_Data\\_Policy](http://nrsc.gov.in/Remote_Sensing_Data_Policy)>

(15) “Facing strong criticism, Govt. to review draft Geospatial Bill,” 2016.5.9. Firstpost website <<http://www.firstpost.com/india/geospatial-information-regulation-bill-2016-criticism-2772728.html>>

(16) “ISRO has initiated a process of formulating a National Space Act for regulating space activities in India and offering more commercial opportunities,” 2015.7.22. Indian Space Research Organisation website <<http://pib.nic.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=123526>>

(17) キラン・クマル（Kiran Kumar）ISRO長官の発言による。“Space Act will be in place soon, says ISRO Chairman,” 2016.2.29. Hindu website <<http://www.thehindu.com/sci-tech/space-act-will-be-in-place-soon-says-isro-chairman/article8293340.ece>>

(18) 鈴木 前掲注(7), pp.165-166.

(19) “About us.” Antrix Corporation Limited website <<http://www.antrix.gov.in/about-us>>

・人工衛星の運用支援サービス

人工衛星打上サービスの中心的な役割を果たしているのは前述の PSLV ロケットである。同ロケットは2016年12月までの打上回数38回のうち37回が成功するなど高い信頼性を有し(成功率97.4%)<sup>(20)</sup>、打上費用も比較的安価なことから、人工衛星打上市場において高い競争力を有している。第12次5か年計画は、増大する PSLV ロケットの打上需要に対応するため、これまでは ISRO が担当してきたロケットの生産に民間企業を参画させることを掲げている。また、PSLV ロケットは一度に多数の人工衛星を打ち上げることで人工衛星1機あたりの打上コストを下げる方法を多用しており、2015年には、4回の打上げで7機の小型人工衛星と100キログラム以下のマイクロ人工衛星13機を打ち上げた。さらに2016年6月に実施された36回目の打上げでは、米国のマイクロ人工衛星12機を含む20機の人工衛星を軌道に投入した<sup>(21)</sup>。

また、アントリックス社は、ISRO が保有・運用する13機の通信衛星を使用してテレビ放送中継や電話中継などのサービスを提供している<sup>(22)</sup>。

このように多角的な事業展開を行って ISRO による技術開発の成果を積極的に商業化していった結果、アントリックス社は大きな商業的成果を挙げている(表3)。

表3 アントリックス社の経営状況

(単位：ルピー、かっこ内は円換算)

	2010-2011年	2011-2012年	2012-2013年	2013-2014年	2014-2015年
総売上高	111億3580万 (215億円)	118億600万 (223億円)	129億528万 (244億円)	159億520万 (301億円)	186億710万 (352億円)
純利益 (税引き後)	13億8860万 (26億円)	17億980万 (32億円)	17億7060万 (33億円)	20億500万 (38億円)	20億5100万 (39億円)
配当	2億7780万 (5.3億円)	3億4200万 (6.5億円)	3億5420万 (6.7億円)	4億100万 (7.6億円)	4億1120万 (7.8億円)
純資産	67億150万 (127億円)	80億1390万 (151億円)	93億7020万 (177億円)	108億7350万 (206億円)	123億8460万 (234億円)

(出典) Antrix Corporation Limited, “Annual Report 2014-2015”, p.7. <<http://www.antrix.gov.in/sites/default/files/article-attachments/ANNUAL%20REPORT%202014%20-2015%28ENGLISH%29.pdf>> を基に筆者作成。

また、近年ではインターネットの普及などによって通信衛星の需要が増加し、大きな商業機会となっている。このため、ISRO では、従来はコンポーネントの製造までしか実施していなかった民間企業にも最終組立てまで含めた人工衛星の製造に参入するよう求めている<sup>(23)</sup>。

## 2 安全保障への宇宙利用

インドの宇宙開発に関する第2の新たな潮流としては、安全保障領域における宇宙利用の増大が挙げられる。インドは、これまでも宇宙関連技術を安全保障のために用いることを排除

(20) “Polar Satellite Launch Vehicle.” Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/launchers/pslv>>

(21) “PSLV-C34 / CARTOSAT-2 Series Satellite,” 2016.6.22. Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/launcher/pslv-c34-cartosat-2-series-satellite>> 本稿脱稿後の2017年2月15日に実施された第39回目の打上げでは、米国のマイクロ人工衛星96機を含む104機の人工衛星を軌道に投入し、1機のロケットで打ち上げた人工衛星の同時打上数に関する世界記録を樹立した。

(22) “Transponder Provisioning Services.” Antrix Corporation Limited website <<http://www.antrix.gov.in/business/transponder-provisioning-services>> なお、13機の人工衛星の内訳については以下を参照。“Satellite Fleet.” Antrix Corporation Limited website <<http://www.antrix.gov.in/business/satellite-fleet>>

(23) Pallava Bagla, “ISRO Throws Satellite Making Open To Private Sector,” 2016.6.24. NDTV website <<http://www.ndtv.com/india-news/isro-throws-satellite-making-open-to-private-sector-1423043>>

してきたわけではなく、IRS システムを構成する地球観測衛星を安全保障目的の情報収集に使用してきた。特に2010年以降は、インド国防省が統合参謀本部 (Integrated Defence Staff: IDS) 内に DOS 及び ISRO との合同機関として設置した統合宇宙室 (Integrated Space Cell: ISC) が窓口機関となり、IRS システムを構成する人工衛星群が取得した情報を陸海空軍に提供する体制が構築されている<sup>(24)</sup>。前述した IRNSS においても、標準的な精度の民生用信号と軍事用を含む高精度の政府機関用信号の双方を提供しており、インド軍における戦力強化やその他の広汎な安全保障上の用途にも利用されると見られる<sup>(25)</sup>。このほかには、インド海軍向けに ISRO が運用する通信衛星1機 (GSAT-7) がある。

このように、安全保障を含む多様な宇宙利用が進展する一方、インドは安定的な宇宙利用に対する脅威の認識も高めている。特に中国が2007年に実施した人工衛星破壊実験<sup>(26)</sup>は、このような脅威の認識を強めることとなった<sup>(27)</sup>。前述した ISC の設置についても、中国の人工衛星破壊実験に対する懸念が大きな要因であったとされる<sup>(28)</sup>。

このような状況下で、インドは既存の宇宙システムの保護及び対宇宙攻撃能力の獲得を真剣に検討し始めた。2010年、インド国防省は「技術開発の方向性と能力向上に関するロードマップ (Technology Perspective and Capability Roadmap: TPCR)」を公表し、独自の人工衛星破壊能力、低軌道及び極軌道衛星に対する電子的な攻撃 (電波妨害等) の能力並びに敵対勢力の電子的な人工衛星攻撃に対する抗たん性の確保に関する技術開発を進める方針を打ち出した<sup>(29)</sup>。2012年には、DRDO のヴィジャイ・サラスワト (Vijay Kumar Saraswat) 長官が、インドのミサイル防衛システムを人工衛星攻撃にも転用できることを示唆し、インドによる対宇宙攻撃能力獲得の可能性が注目を集めた<sup>(30)</sup>。

現時点において、インドは公式には対宇宙攻撃能力の開発には着手していない。また、2013年に改訂された最新版の TPCR<sup>(31)</sup>では、積極的な対宇宙攻撃能力の獲得に関する表現は削除され、「対衛星兵器 (Anti-Satellite: ASAT) の出現とともに人工衛星を保護するための監視衛星の概念も追求されうる」との表現にとどまっている。もっとも、インドはパキスタンの弾道ミサイル能力増強<sup>(32)</sup>に対抗してミサイル防衛能力の整備を進めており、その技術は対衛星攻撃能力と

(24) GD Sharma, "Space Superiority: Integrated Space Cell needs to be upgraded to an aerospace command," April 2016. Force website <<http://www.forceindia.net/SpaceSuperiority.aspx>> なお、IRS システムを構成する人工衛星群のうち、レーダ衛星である RISat-1 及び RISat-2 並びに測量衛星である CartoSat2A は軍事利用されていると見られる。

(25) "IDN Take: IRNSS Scoffs at American GPS," 2015.10.13. Indian Defense News website <<http://www.indiandefensenews.in/2015/10/idn-take-irnss-scoffs-at-american-gps.html>>

(26) 2007年に中国が自国の人工衛星を人工衛星攻撃用ミサイルによって破壊した事案。詳しくは本報告書の「宇宙と安全保障」を参照。

(27) Rajeswari Pillai Rajagopalan, "The Growing Case for an Indian Space Policy," May 2015, p.7. Brookings Institution India Center website <<http://www.brookings.in/wp-content/uploads/2015/05/The-Growing-Case-for-an-Indian-Space-Policy.pdf>>

(28) 例えば、インドの A・K・アントニー (Arackaparambil Kurian Antony) 国防相 (当時) は、ISC 設置の理由として、近隣国における衛星攻撃兵器を始めとする対宇宙攻撃能力の出現を挙げている。Sudha Ramachandran, "India goes to war in space," 2008.6.18. Asia Times website <[http://www.atimes.com/atimes/South\\_Asia/JF18Df01.html](http://www.atimes.com/atimes/South_Asia/JF18Df01.html)>

(29) Spyros Pagkratis, *Space Policies, Issues and Trends in 2010/2011*, ESPI Report 35, June 2011, pp.53-54. <[http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/ESPI\\_Report\\_35.pdf](http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/ESPI_Report_35.pdf)>

(30) Harsh Vasani, "India's Anti-Satellite Weapons: Does India truly have the ability to target enemy satellites in war?" 2016.6.14. Diplomat website <<http://thediplomat.com/2016/06/indias-anti-satellite-weapons/>>

(31) Headquarters Integrated Defence Staff, Ministry of Defence, "Technology Perspective and Capability Roadmap (TPCR)," April 2013, p.17. Ministry of Defence website <<http://mod.gov.in/writereaddata/TPCR13.pdf>>

(32) 通常戦力でインドに対して劣勢にあるパキスタンは核弾頭装備型を含む弾道ミサイル能力の増強を進めている。"Pakistan Missile." Nuclear Threat Initiative website <<http://www.nti.org/learn/countries/pakistan/delivery-systems/>>

も共通する部分がある<sup>(33)</sup>。

また、近年では、インド軍が独自に人工衛星を運用し、宇宙作戦を実施するための宇宙コマンド（司令部）を設置すべきであるとの議論も見られる<sup>(34)</sup>。中でも2016年10月に、アルプ・ラハ（Arup Raha）空軍参謀長（当時）が、ISCを基盤として三軍合同の防衛宇宙庁（Defence Space Agency: DSA）を設置し、将来的には宇宙作戦を統一的に指揮する宇宙コマンド（司令部）に発展させるとの構想を述べたことが注目される<sup>(35)</sup>。

### 3 宇宙探査

第3の新たな潮流は、これまで重視されてこなかった宇宙科学研究、特に月・惑星探査に対して積極的な姿勢が見られるようになったことである。これは、将来的な月・小惑星等の資源採掘の可能性が開けてきたこと、月探査を重視していた米国との国際的協力の契機となる可能性があったこと、中国が月探査に乗り出したことなどを背景とした変化であると指摘されている<sup>(36)</sup>。

実際にインドの宇宙探査は大きな成果を挙げている。月探査に関しては、2008年に初の月探査機チャンドラヤーン1号を月軌道に投入することに成功し、月に水が存在することを明らかにした<sup>(37)</sup>。2017年には月面探査車を搭載したチャンドラヤーン2号の打上げも計画されている。続くチャンドラヤーン3号では月からのサンプル回収を意図しているとも言われるが<sup>(38)</sup>、現時点において詳細は明らかでない。

インドは火星探査にも取り組んでおり、2014年にはアジアで初めて火星探査機マンガルヤーン1号を火星軌道に投入することに成功した。マンガルヤーンについては、探査機のミッションを絞り込むことで小型化するとともに、標準的な実用人工衛星用の衛星バスを使用するなどして、コストを抑制しつつ火星探査を成功させた点も注目されている<sup>(39)</sup>。

このほか、第12次5か年計画の枠内においてはインド初の多波長宇宙観測衛星「アストロサット-1（Astrosat-1）」<sup>(40)</sup>が2015年に打ち上げられたほか、第13次5か年計画以降においてインド初の太陽観測衛星「アディーティヤ-1（Aditya-1）」等の宇宙研究用衛星の打上げも計画されている<sup>(41)</sup>。

(33) Victoria Samson, “India’s missile defense/anti-satellite nexus,” 2010.5.10. The Space Review website <<http://www.thespacereview.com/article/1621/1>>

(34) 宇宙コマンドの設置をめぐる議論については以下を参照。Sharma, *op.cit.*(24)

(35) Ashish Singh, “Additional type of Fighter aircraft may be made in India: Arup Raha,” 2016.10.9. Sunday Guardian Live website <<http://www.sundayguardianlive.com/news/6872-additional-type-fighter-aircraft-may-be-made-india-arup-raha>>

(36) 鈴木 前掲注(7), p.167.

(37) “Chandrayaan-1,” 2008.10.22. Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/Spacecraft/chandrayaan-1>>

(38) Neelam Mathews, “Chandrayaan-3 Will Be A Sample Return Mission,” 2008.12.8. Aviation Week website <<http://aviationweek.com/awin/chandrayaan-3-will-be-sample-return-mission-0>>

(39) Jonathan Amos, “Why India’s Mars mission is so cheap and thrilling,” 2014.9.24. BBC website <<http://www.bbc.com/news/science-environment-29341850>>

(40) アストロサット-1（Astrosat-1）は紫外線観測機器と4種類のX線観測機器を搭載し、複数の異なる波長の電磁波によって観測を行えることから、多波長宇宙観測衛星と呼ばれる。“Astrosat,” 2015.9.28. Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/Spacecraft/astrosat>>

(41) “Aditya: L1 First Indian mission to study the Sun.” Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/aditya-l1-first-indian-mission-to-study-sun>>

### Ⅲ 宇宙開発の将来

これまで見てきたように、インドの宇宙開発は、社会・経済の発展を目的とするものから、商業化、安全保障目的での利用、宇宙探査にまで範囲を広げつつある。今後もインド経済の発展が進むにつれ、宇宙開発の規模及び範囲は拡大することが予想される。

ロケットについて言えば、当面の課題は大型打上ロケット GSLV Mk.III の実用化である。GSLV Mk.III ロケットは ISRO が開発を進めている新型液体燃料ロケットであり、インドが新規開発した C25 極低温第 3 段ロケット・エンジン<sup>(42)</sup> と組み合わせることにより、静止トランスファ軌道に最大で 4 トンの人工衛星等を投入することが可能となる<sup>(43)</sup>。これにより、現在は欧州のアリアンロケットに依存している静止衛星の打上げをインドが独自に実施することが可能となる見込みである。GSLV Mk.III ロケットの初の飛行試験は 2014 年に実施され、成功したほか、2017 年第 1 四半期には実際に通信衛星を静止軌道に投入する計画である<sup>(44)</sup>。

中長期的にはロケット等の再使用も考慮されており、第 12 次 5 か年計画では、再使用型打上ロケット (Reusable Launch Vehicle: RLV) 及び二段式ラムジェット (Dual Mode Ramjet: DMR)<sup>(45)</sup> に関する重要技術の実証が ISRO の目標の 1 つに掲げられている<sup>(46)</sup>。また、ISRO は 2016 年に、宇宙往還機の技術実証を目的とした小型技術実証機である RLV-TD (Reusable Launch Vehicle-Technology Demonstration Programme) を使用した弾道飛行試験に成功した<sup>(47)</sup>。

一方、国防省の DRDO は単段式の再使用型宇宙往還機の開発を目指す計画<sup>(48)</sup> を構想しているが、概念研究の段階にとどまっている<sup>(49)</sup>。

また、第 12 次 5 か年計画には、宇宙輸送に関する課題として有人宇宙飛行プログラムに関する重要技術及び構成システムの開発が盛り込まれている<sup>(50)</sup>。ISRO は 2006 年から 3 人乗りのカプセル型宇宙船の開発を進めており、2007 年には宇宙カプセルの大気圏への再突入実験も実施されているほか、2014 年には有人宇宙飛行を想定した乗員搭乗設備を GSLV Mk.III ロケットを使用して無人で打ち上げ、回収する実験にも成功した<sup>(51)</sup>。

このように、インドは有人宇宙飛行に関する技術的蓄積を継続しており、ISRO 長官からも

(42) 人工衛星を所定の軌道に投入するためのエンジンである。推進効率の高い液体酸素・液体水素型であるため、液体水素を常にマイナス 250 度以下の極低温に保つ必要がある。

(43) “LVM3.” Indian Space Research Organisation website <<http://www.isro.gov.in/launchers/lvm3>>

(44) Jay Menon, “India’s GSLV Mk.3 Developmental Flight In 2017,” 2016.11.30. Aviation Week website <<http://aviationweek.com/awinspace/india-s-gslv-mk3-developmental-flight-2017>>

(45) ラムジェットとは、取り込んだ空気をラム圧によって圧縮する形式のジェットエンジンを指し、高速飛行に向けた形式のエンジンである。ISRO の計画している二段式ラムジェットはマッハ 5 以上の極超音速飛行を実現するための超音速燃焼ラムジェット (スクラムジェット) エンジンに分類され、再使用型宇宙機を開発するための重要な技術のひとつである。

(46) Planning Commission (Government of India), *op.cit.*(6), p.267.

(47) Chris Gebhardt, “India successfully launches Reusable Launch Vehicle demonstrator mission,” 2016.5.22. NASASpaceFlight.com website <<https://www.nasaspaceflight.com/2016/05/india-launch-reusable-launch-vehicle-demonstrator-mission/>>

(48) AVATAR (Aerobic Vehicle for Transatmospheric Hypersonic Aerospace Transportation) 計画と呼ばれている。

(49) P.C. Katoch, “ISRO’S AVATAR: Making India Proud Again,” 2015.7.1. Indian Defence News website <<http://www.indiandefensenews.in/2015/07/isros-avatar-making-india-proud-again.html>>

(50) Planning Commission (Government of India), *op.cit.*(6), p.267.

(51) Binoy Valsan, “Isro successfully test-fires GSLV Mark III carrying unmanned crew module,” 2014.12.18. The Times of India website <<http://timesofindia.indiatimes.com/india/Isro-successfully-test-fires-GSLV-Mark-III-carrying-unmanned-crew-module/articleshow/45557579.cms>>

近い時期に有人宇宙飛行を実施することは可能であるとの発言が度々なされている<sup>(52)</sup>。しかし、現時点でインド政府は、有人宇宙飛行の実施を決定していない。

執筆：公益財団法人未来工学研究所 研究員 小泉 悠

---

(52) 一例として以下の記事におけるコッピリル・ラダクリシュナン(Kopillil Radhakrishnan) ISRO 長官の発言を参照。Vishnu Som, “India Will be Ready to Launch Manned Space Mission in a Few Years: ISRO Chairman to NDTV,” 2014.11.12. NDTV website <<http://www.ndtv.com/india-news/india-will-be-ready-to-launch-manned-space-mission-in-a-few-years-isro-chairman-to-ndtv-692766>>