解　説

超小型衛星の世界と宇宙教育・キャパシティービルディング

The New World of Nano Satellites, by Space Education and Capacity Building.

秋山 演亮[1]

[1]和歌山大学宇宙教育研究所

概要：宇宙教育研究所では，宇宙教育手法の研究・開発を実施し，国内外に広め，キャパシティービルディングの手法にまで高める活動を実施している。特に超小型衛星の今後の世界展開と，これら活動の意義に関して解説を行う。

キーワード：宇宙教育・キャパシティービルディング・国際協力・コンステレーション・宇宙外交

1．はじめに

宇宙教育研究所では，教育改革に係わる運営費交付金・内閣府最先端研究開発支援プログラムの一部としての人材育成のための補助金・文部科学省の地球観測衛星開発のための補助金の３つを活動資金とし，活動を行っている。しかしその活動内容に関して，宇宙教育手法の研究・開発とその人材育成が目指す方向性や，具体的な衛星開発プロジェクトがどのように関連し合い，位置付けられているのか，御質問を戴くことが多い。そこで本稿ではこれら各事業の関連性を明らかにし，それらが有機的に繋がり，どのような将来像を宇宙教育研究所が目指すのかを示すことを目的とする。

2．新しい日本の宇宙政策と宇宙産業

2.1 日本の宇宙政策

ながらく科学と関連宇宙技術の開発に軸足を置いた宇宙開発を続けてきた我が国は，主に官需により産業基盤を維持してきた（表１[1)]）。しかし国家財政の疲弊により，この構図では産業と関連技術を維持するための十分の予算確保が不可能になりつつある。

このような現状を踏まえて，2008年には議員立法による「宇宙基本法」が提出され，自公民の３党合意により成立した。これにより従来，文部科学省の傘下で「科学技術」「研究開発」を中心に行われていた日本の宇宙開発から，総理直下で「産業化」にも軸足をおいた宇宙開発が進められると考えられていた。しかし同時期に実現した政権交代により政策変換はストップし，１年近い停滞を余儀なくされた。

そこで筆者等の提案により，新政府内において2010年に宇宙担当大臣の諮問委員会として「今後の宇宙政策の在り方に関する有識者会議」が設立され，新しい日本の宇宙開発体制の在り方とその政策に関する議論

表１　日米欧の宇宙関連市場の規模

	市場規模	官需	軍需	民需	その他
米　　国	４兆5000億円	44％	20％	36％	0％
欧　　州	7300億円	41％	19％	37％	3％
日　　本	2348億円	92％	0％	4％	4％

〈出典：社団法人日本航空宇宙工業会　平成19年度宇宙産業データブック〉

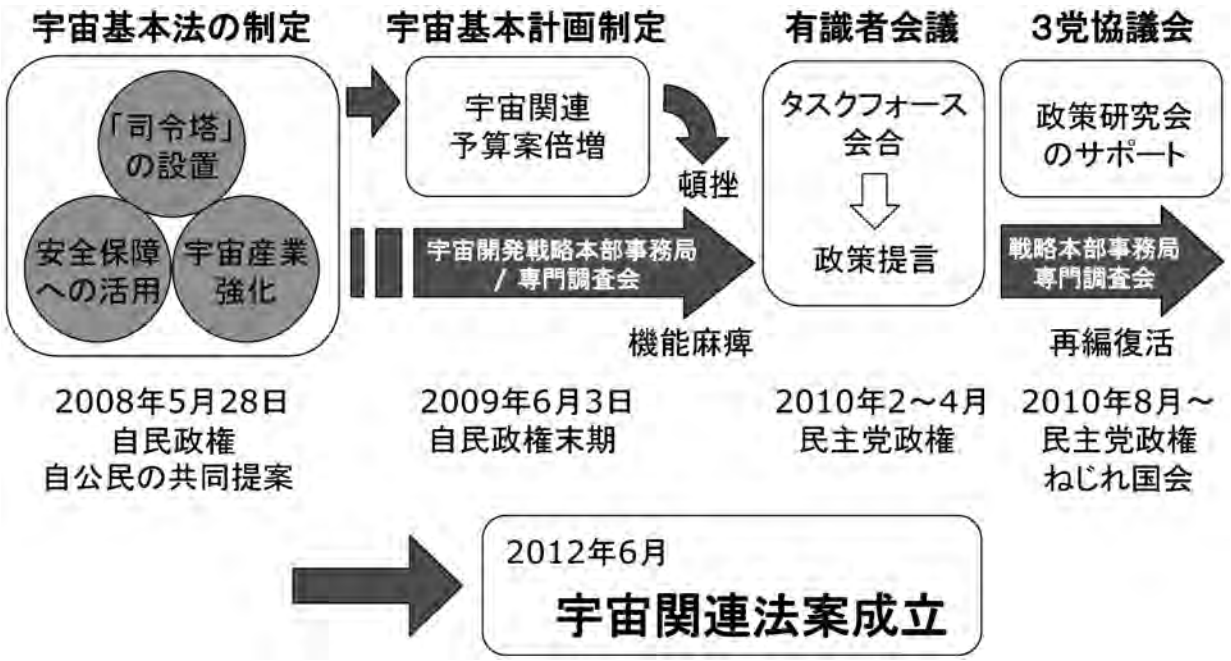

図１　我が国の宇宙関連法案を巡る動き

が展開された。当有識者会議では以下の３点を今後の日本の宇宙開発が目指すべき方向性として提言した。

1．『自在な宇宙利用能力』*は，我が国の「外交力・ソフトパワーの維持」および「安全保障」のために「戦略的に推進すべき政策課題」である。
→上記目的を達成するために，国内の宇宙産業（人材・技術と製造ライン）の成長が必要
*ロケット等により宇宙に行く能力，衛星等により宇宙で活動できる能力

2．国の投資が効果的に宇宙政策の実現に寄与し，さらに新規参入を含めた民需の拡大に繋がる施策が緊急かつ最重要な課題である。
→利用を意識した研究開発（イノベーションエンジン）と，産官学一体となった宇宙システムの社会インフラ化（グリーンイノベーション等）と海外市場の獲得（パッケージ化戦略）が必要

3．我が国の宇宙政策の透明化，および意思決定と予算執行の一元化を促進するために，内閣府の下に宇宙庁（仮称）を設立するべきである。
全省庁横断的な国家戦略の立案が必要。また民間の経営意識も取り入れた，情報分析・施策立案・運用が必須である。

これらの提言に基づき，2012年６月には宇宙関連法案が設立され（図１），利用を意識した研究開発と産官学一体となった宇宙システムの社会インフラ化，海外市場の獲得を目指した活動が始まろうとしている。

2.2 宇宙産業

このような新体制の下で既に我が国宇宙産業の取組に基づく基本計画の改定と予算編成が進められているが，筆者等は以下のようなマーケット設定と実施戦略を政府に対して提案している。

1）放送通信衛星市場
2）放送通信サービス市場
3）新しい宇宙利用インフラ市場
4）センサーやコンポーネント等の部品市場
5）地球観測データ利用市場
6）衛星打ち上げ市場

このようなマーケットは，既に陸上でのインフラが充分に進んでしまっている国内ではなく，新たにインフラ整備を必要としている海外がメインターゲットとして想定されるべきである。国際市場においては，過去５年間（2004年～2010年）で年平均11.2%の成長を示しており（JAXA2011調べ），マーケットは着々と拡大している。

一方で１）・２）に関しては国内でも技術が成熟しはじめ既に巨大なマーケットが成立しているも，我が国のシェアは非常に小さい。静止軌道上に位置する商業用の放送通信衛星は250～260機もあるとされるが，我が国で製造された衛星はわずか１機に留まっている。

そのため新しい宇宙政策においては，この２分野については，民間活動を主体としながら，政府の側面支援によるマーケットシェアの拡大を目指すことが大きな課題となっている。

一方，３)や４)に関しては，これまで国家によって開発を進めてきた様々なセンサーやコンポーネントの民生展開が求められており，またこれらの技術を統合して実現される，様々な高度な地球観測の為の仕組みや，新しい測位システムの構築など，国家が主体となり推進すべき分野であると考えられている。このような観点から，準天頂衛星システム等には新しく国家予算が投じられようとしている。

５)の地球観測データ利用に関しては，政府機関や国連機関等，公的な機関においてその需要は大きいが，民間ビジネスとしてはまだまだ成立しない分野であると認識されている。この分野は他のグリーンイノベーション分野と同様，先進国の出資によりインフラ（地球観測衛星の製造・打ち上げ・運用・データ解析・配布）が実施され，開発諸外国がその成果物を無償で利用する構造となっている。しかし近年の先進国の財政的な疲弊にともない，急速にこのスキームは崩壊しつつある。一方で，宇宙新興国にとっては，地球観測はとっかかり易いテーマであり，既に先進国が圧倒的なシェアを誇っている１)や２)，また技術的な蓄積とノウハウが必要となる３)や４)に比べて，狙うべきターゲットとしての垣根が低い分野でもある。

６)に関しては軍用に使われていたミサイルを衛星打上用に転用しているロシア等に対抗してマーケットを確保することは非常に困難である。そのため，１)～５)に係わる衛星販売戦略やデータ利用戦略とも密接に絡めた戦略構築が必要不可欠である。

3．産業基盤としての宇宙教育

3.1 宇宙教育の目的と分類・対象年齢

近年「宇宙教育」という言葉は多くの場所で使われている（Google検索では11万件以上がヒット）が，何が宇宙教育なのか，どのような目的でなされているかなどについては千差万別であり，まだまだ教育学的な議論が必要な状況である。筆者は前号[2]でその目的と分類に関する考察を実施している。この宇宙教育の目的・分類をさらに詳細に検討を行い，対象年齢も加味した検討結果を図２に示す。

C) Professional training of space technology and science（宇宙科学や工学に関する専門的な

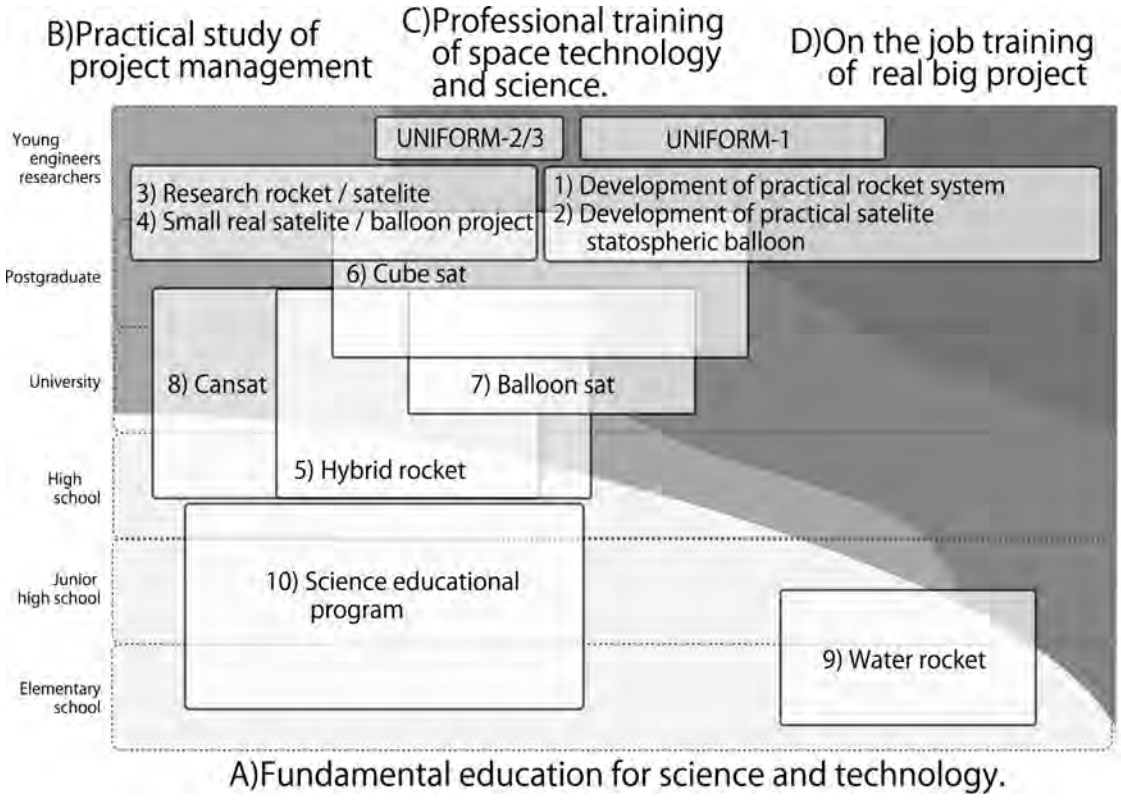

図２　宇宙教育の目的と対象年齢，具体的な教育ツール

トレーニング教育）は宇宙に特化したものであるが，A）Fundamental education for science and technology（科学や技術に関する導入教育）やB）Practical study of project management（実践的なプロジェクトマネジメント教育）は広く一般的な人材育成ツールとしても活用が可能である。またD）On the job training of real big project（実巨大プロジェクトに参加してのオンザジョブトレーニング）は，宇宙に限らない，国家的な（予算規模が数十億円といった）ビックプロジェクトのマネジメント経験を積み，将来のプロジェクトマネージャー育成の為に必要な教育となる。これら４つの教育目的は，広く我が国の産業を支える為に必要な人材を育成する事も念頭に置いている。また前号で示したように，これら宇宙教育を国内だけを対象とするのではなく，戦略的に海外にも展開することにより，将来の産業化のためのツールとすることが，非常に重要である。

3.2 新政策下での宇宙教育

このような宇宙教育の目的・分類・対象は新しい宇宙開発政策にも大きな影響を与えている。従来までの日本の宇宙政策においては，教育面については主に「魅力有る教材としての宇宙の利用）」・「最先端研究開発を支える高等教育を実施する（宇宙関連の技術者・研究者の育成）」事に重点が置かれていた。しかし新しく改訂された宇宙基本計画では，「我が国の宇宙外交・海外マーケット獲得の戦略的ツール」としての側面が強調されている（図３）。また文部科学省が新しく発表した「文部科学省における宇宙分野の推進方策について」においても同様である。人材育成に関しては，国内では「高校生・大学生等に対しては模擬のロケットや衛星の打上等の実体験を通じてより専門的な関心を高める取組などを支援すべきである」と記述され，また海外に対しても「宇宙新興国における人材育成にも配慮することで，海外における将来の宇宙利用拡大に貢献していくこととする」と明記されている。

また特に文部科学省においては，上記のような宇宙教育の推進例として付録資料に特に３大学の取り組みを取り上げており，当研究所もその一つとして活動の紹介がされている。このように，宇宙教育研究所の活動は，国家方針に沿った大きな戦略の重要な施策として，現在では位置付けられている。

宇宙基本計画　人材育成に関する内容

1）魅力ある教材としての宇宙の利用
2）宇宙関連の技術者・研究者の育成
3）我が国の宇宙外交 / 海外マーケット獲得の戦略的ツール
↑　3)がもっとも比率が高いが、相手国のニーズは2)・1)が理由であることに注意！

第3章　宇宙開発利用に関し政府が総合的かつ計画的に実施すべき施策

３－３. 宇宙空間の戦略的な開発・利用を推進するための8つの横断的施策

（2）強固な産業基盤の構築と効果的な研究開発の推進

② 今後の在り方

b）産業基盤の強化

特にアジア諸国を中心とした新興国では、自国の技術者や産業の育成等に関心が高いことから、こうしたニーズを踏まえた人材育成や技術協力を進めるなど、各国との協力関係を深めていく。

（3）宇宙を活用した外交・安全保障政策の強化

（3－1）宇宙外交の推進

① 現状と課題

開発途上国との宇宙協力は、相手国のニーズを踏まえ、我が国の宇宙インフラの提供のみならず、JAXA や国際協力機構（JICA）が人材育成や宇宙利用技術の共同研究などを積極的に推進している。このような途上国への支援に当たっては、我が国が外交の柱として掲げる「人間の安全保障」に留意した我が国らしい支援を実施しており、当該国の宇宙開発利用の促進を図っている。

（4）相手国のニーズに応えるパッケージ型インフラ海外展開の推進

① 現状と課題

相手国は、衛星のみならず、人材育成や技術移転等を含めたパッケージとして提供されることを強く期待している。

②今後の我が国宇宙システムの海外展開の在り方

相手国のニーズに応えるため、関係省庁間の協力を密にし、衛星の提供に留まらず、人材育成、技術移転、相手国政府による宇宙機関設立への支援等を含めたパッケージで取り組む。

（6）宇宙開発利用を支える人材育成と宇宙教育の推進

① 現状と課題

今後、我が国宇宙開発利用を支える人材は、宇宙機器産業の人材のみならず、宇宙利用の拡大を担う研究者や宇宙開発利用を総合的に俯瞰しプロジェクトを企画立案し得る人材が必要になる。また、技術的な専門家だけではなく、国際的な宇宙法や安全保障にも精通した人材が必要とされている。

このような人材の確保・育成のためには、大学における教育機能の強化や宇宙を対象とする初等中等教育の充実も重要である。また、国際貢献や国際協力による効率的な宇宙インフラの構築の観点から、我が国の宇宙システムの導入に関心のある新興国の人材育成や宇宙教育も重要である。

② 今後の在り方

a）宇宙開発利用を支える人材の育成

我が国の宇宙開発利用を支える人材の育成に関し、学術のための宇宙科学を含む宇宙開発利用全体の研究開発を引き続き先導する人材と、宇宙機器産業の人材に加え、宇宙利用の拡大を支える宇宙利用サービス産業やユーザー産業における人材、さらにはプロジェクトをまとめ上げる総合力を有する人材が求められており、政府、大学、JAXA、産業界等が連携し、人文・社会科学分野も含めた人材の育成や宇宙教育の強化を図る。また、科学技術に対するリテラシーを向上させる上で、宇宙は青少年期から興味や関心を持ちやすい分野であり、学習意欲の向上にも有効と考えられることから、宇宙教育を重要な手段として科学技術に関する初等中等教育を充実する。

b）新興国の人材育成への協力

宇宙開発利用を推進する新興国は、宇宙政策や宇宙産業を担う人材育成に対するニーズが高く、アジア太平洋地域を中心に我が国への期待が大きい。

そのため、新興国からの留学生の受け入れに対する政府支援を強化するとともに、大学レベルでの超小型衛星開発事業や国際宇宙ステーション計画（ISS）などの我が国宇宙開発利用プロジェクトの実施を通じ、新興国の人材育成に貢献する。

３－４. 宇宙関連施策を効率的・効果的に推進する方策の在り方

（4）パッケージ型インフラ海外展開

そのため、我が国の宇宙システムの海外展開に当たっては、我が国産業競争力の強化に加え、輸出金融などのファイナンスの供与、ODAによる途上国支援、APRSAFや国際宇宙ステーション（ISS）の活用、現在実施中の研究開発や人材育成事業との連携、政府によるトップセールスや在外公館の活用など、可能な限りの政府による支援策を効果的に組み合わせて推進する。

図３　改定宇宙基本計画での人材育成に関連する記述抜粋

3.3 産業基盤としての宇宙教育の活用

本稿2.2において述べたように宇宙産業は分類されるが，その市場は地上インフラが整備された国内よりも，整備の遅れている海外に大きく存在している。世界190余国のうち，独自に衛星を製造出来る国は数カ国に過ぎず，他国から購入するなどにより独自に衛星を保有している国は55カ国に留まっている。その他150近くの国では，衛星利用すら始まっていない国も多く存在している。

これらの国の今後の発展を考え，その一つ一つに対してどのような戦略を構築するかは，産業化によりサステイナブルな活動を目指す，新しい宇宙開発政策においては重要な検討課題である。そこで筆者は図4のようにこれら海外諸国を分類し，それに対する日本の対応を，教育面・産業面から検討した。

最終的なゴールとして，我が国から技術やノウハウをトランスファーした他国が，我が国の宇宙開発産業を脅かす競合国となるのでは，本末転倒である。そのため，我が国の宇宙アセットを使用する「宇宙利用推進国」，あるいは我が国と協力して（例えば部品の共有やマーケットに対して共同歩調をとるなどの）宇宙開発を推進する「互恵的宇宙開発先進国」へと発展することが望ましい。

そこで図4に示すような段階的な教育プログラム（ツール）を開発・検証し，それらを海外諸国に紹介し，それぞれの国で広めることが非常に重要な役割を果たす。そのためには留学生を受け入れるのも一つの方策ではあるが，特にその国の教員等指導者クラスにターゲットを絞り日本で学んで貰い，自国に戻って広くその教育を展開して貰う事は，効率的である。

また実際に，「海外衛星無償利用国」を「宇宙開発新興国」や「宇宙利用推進国」，「宇宙開発先進国（互恵国）」への段階的な発展を促すためには，教育現場だけではなく，産業界においても実産業に従事するエンジニアを育成するプログラム（ツール）が必要となる。

この場合，「衛星開発が出来るエンジニア」育成とひとくくりでくくられがちであるが，非常に複雑な機器である衛星の開発・製造，またそのデータ利用には様々なレイヤーのエンジニアが係わることになる。まずは国家としての宇宙開発計画の立案やコンセプトをも考えられるManagerクラスが必要である。またManagerの下で，個々の衛星を設計・開発するEngineerクラスが存在する。またEngineerクラスの下で実作業におけるリーダとなり得る，Technicianクラスが考えられる。さらには実作業を担当するLaborクラスが必要となる。このような階層的なエンジニアに対して，最適となる産業化のためのツールを提供することは非常に重要である。産業化にあたっても，Labor層を我が国で教育するのではなく，Manager・Engineer・Technicianクラスに学んで貰い，それぞれの国で

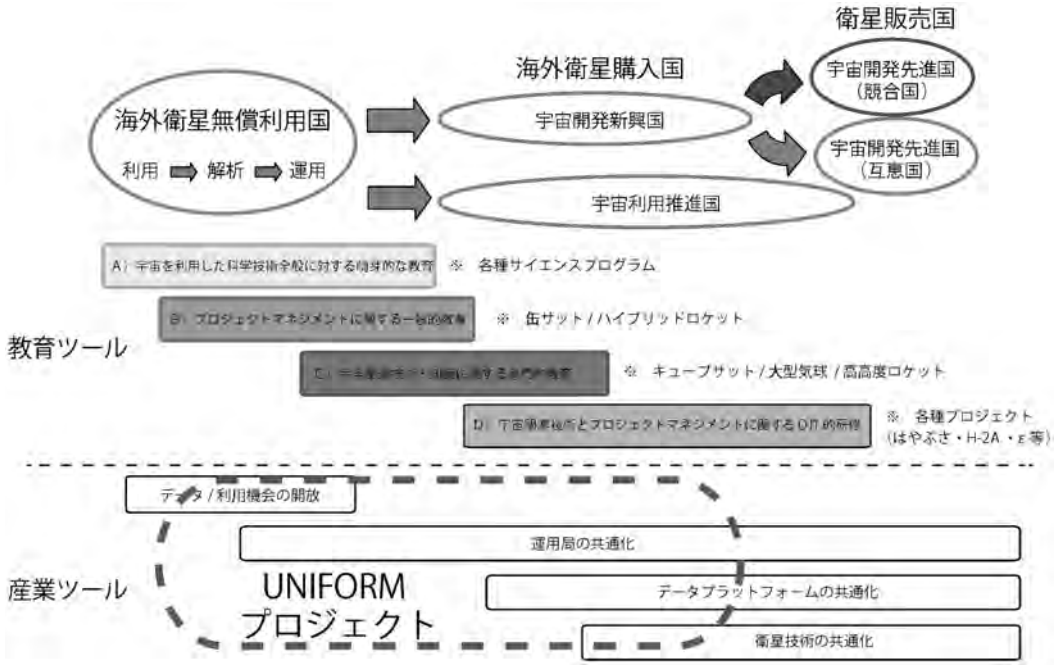

図4　海外諸国の発展と，我が国の戦略的対応

Labor層の育成を進めて貰うのが，もっとも効果的な手法と考えられる。

4．宇宙教育研究所の取り組み

4.1 活動分類と成果

前述のような国家的な宇宙開発戦略に基づき，その産業化（海外マーケットの獲得）にも大きな軸足を置いた活動を，宇宙教育研究所では実施している。詳細に関しては昨年の報告[2)]も参照されたい。

まず第一段階として，国内外にて宇宙教育手法に関する研究と実践を行い，これによりその成果を海外に輸出する取り組みを行っている。具体的には高校生・大学生・大学院生に対する缶サットやモデルロケット，ハイブリッドロケット，バルーンサットなどに関する教育である。またこれらの教育を実施するためのツールとして，缶サット用のモデルロケットの開発や，オクトコプターの開発なども行っている。

ハードだけではなく，その活用方法として，最近では12mパラボラアンテナを用いた各種観測などの教育手法の開発も行っているところである。同時によりファンダメンタルな科学・技術に対する関心・知識を高めるための教育として，小中学生を対象とした「探検倶楽部」（無人島でのサバイバル合宿体験）などの手法も開発している。これらの各手法に関する研究や成果については，本紀要の他稿でも詳細の紹介を行っているので，参照されたい。

第二段階として，これら教育手法の海外輸出のために，海外から教員を招いてその実施方法を教える缶サットリーダートレーニングプログラム（CLTP）を主催・サポートしている。また国内企業等とも協力し，国内外での実践を行っている。すでに大阪府では人材育成手法として２年間プログラムが実施されており，本年はベトナムでも缶サット教育の理念とその手法に関する講義を，教員対象に実施した。このような活動が世界的に展開されており，図５に示すように多くの国と協力しながら，新しい教育手法として定着し始めている。

第三段階として，教育ではなく産業化のための手法として超小型衛星を使ったキャパシティービルディング手法の検討（UNIFORMプロジェクト）を実施している。UNIFORMプロジェクトでは合計３機の衛星製造を予定している，１号機はキャパシティービルディングを行うための具体的なツール開発と位置付け，50kg級の衛星の設計・製造を実施している。またその地上受信局に関しても開発・製造を行っている。これに対し，２号機・３号機ではあらたな設計要素は最小

図５　缶サット教育の世界展開

限に留める予定である。１号機を可能な限り複製，またその試験手順等も踏襲することにより，主にTechnicianクラスが帰国後，Laborクラスを指導しながら，Manager・Engineerクラスが設計した衛星を製造・指導できるためのノウハウ取得とスキルアップを実施し，キャパシティービルディングを実現する予定である。また地上局に関しても，まずは受信協力から開始し，可能であれば国内に研修生を受け入れ，地上局の製造と初期設定手法に関して研修を実施。帰国後には国内の技術者を使い，独自に地上局を製造出来るためのキャパシティービルディングを目指している。表２にUNIFORMプロジェクトへの参画状況を示す。

表２　各国のUNIFORMプロジェクト（先行したSTARプログラム含む）への参加状況

		Participation History		Collaboration field		
		# of persons	Period	Satellite Development	Data Receive	Data Utilize
Asia Pacific	Vietnam	4	6 months each	○	–	–
	Indonesia	4	1~3 month	○	–	○
	Thailand	3	1~12 month	○	–	–
	Malaysia	1	1 month	○	–	–
	Laos	-	-	○	○	–
	India	2	10 days each	–	–	–
	S. Korea	2	1 year each	–	○	○
	Australia	-	-	–	○	○
S.E. America	Brazil	-	-	○	○	○
	Mexico	-	-	○	–	–
Europe	Kazakhstan	-	-	○	○	○
	Estonia	-	-	–	○	–
	Spain	-	-	–	○	○
	Germany	-	-	–	○	○
	Turkey	-	-	○	○	○

4.2 残された課題

当研究所では教育手法を産業化発展のためのツールとして利用する前述のような取り組みを一貫して実施してきた。設立３年目にして，この方面については目指すべき方向性も明らかとなり，そのゴールに向かって一つ一つ問題を解決していくことが必要であると考えている。一方で，設立当初のもう一つの目的であった，「任せられる人材育成」に関しては，まだまだその手法も含め，模索段階にあると考えている。

未だ産業化が充分に成功しておらず，今後大きく発展が期待される宇宙開発の分野では，全体を見渡すビジョンを持ち，現状を理解し，様々なスキームやパラダイムを変革していくことが出来る「任せられる人材」が必要不可欠である。もちろん，我々が開発している各種教育プログラムは，このことを念頭に置いて作られている。しかしその成果に関しては，まだ十分な検証が行われているとは言い難い。

来年度以降の活動に関しては，企業等からの客観的な評価なども取り入れるなどにより，教育手法とその成果に関して，検証を進めたいと考えている。

5．おわりに

当宇宙教育研究所の活動は太く国家戦略と結びつき，その実現のための具体的なツールの開発と実践という形で展開してきている。このような活動に対する高い評価が，直接的には文部科学省の資料で取り上げられるなどの結果として表れているが，なによりその理念が政府の宇宙基本計画や文部科学省の活動方針に反映されるなど，大きな影響を与えている。しかし一方で，学内における当研究所の認知度は極めて低い状況にあり，その活動基盤の維持にも難を来す状況になっている。これは所を運営するマネージャーとして深刻に受け止め，己が責任を真摯に考えている。

全国的なまた世界的な活動のスケール感が異なるという側面により理解が得られない事もあり得るが，しかし地域に根ざし，支持される活動を展開することが，今後の地方大学には強く求められている。このような観点を十分に理解し，所員一同，今後もそれぞれのスケールに応じた活動を展開することで，理解と協力を高めていく必要があり，そのための全体計画を立案・遂行していく予定である。今後も皆様の御協力を，心より御願いします。

謝辞

本研究所の活動の一部は，総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより，日本学術振興会を通して助成されたものです。またUNIFORMプロジェクトは，文部科学省からの補助金事業として実施しています。また秋田大学の土岐先生・和田先生をはじめ，国内の多くの大学の先生・高校の先生方の協力を戴き，本研究所がサポートする国内の宇宙教育が実践されています。JAXA宇宙教育センターの長田様，セニオネットワークスの三上様・山口様，創機システムズの荻本様他，多くの方々の御支援も戴き，これらの教育は成立しています。気球製作所の豊間様には，多くの技術的御支援を戴きました。

心からの感謝を申し上げます。

引用・参考文献

１）社団法人日本航空宇宙工業会編「平成19年度宇宙産業データブック」（2007）
２）秋山演亮「宇宙教育研究所の役割と活動方針」宇宙教育研究所紀要（2011）