

安全保障、特にネットワーク中心防衛システムの核たる衛星通信技術の研究開発をどう進めるべきか

飯田尚志
SJR 編集委員会顧問

あらまし

宇宙基本法成立を受けて安全保障の一環としての衛星通信技術の重要性とその研究開発の在り方を議論する。まず戦争の性格に変化を及ぼす軍事革命（RMA）が進んでおり、衛星通信はその要の技術としてその重要性が増大していることを米軍の衛星通信利用の現状と将来について公開資料に基づいて述べる。次に、今後の研究開発の考え方の従来と異なる点として、研究成果の使い方まで研究者に考えさせるべきでないこと、研究開発課題を絞らないこと、国が衛星通信の研究を続けることが益々重要となることを述べる。最後に国の研究機関として(独)情報通信研究機構を例として考え、従来の研究課題で必要なものはほとんど網羅されているが、その位置付けの明確化が必要なことを述べる。

1. はじめに

ここでは、宇宙基本法の成立・施行を受けて安全保障の一環としての衛星通信技術の重要性とその研究開発の進め方を議論したい。関連したテーマに関しては、本誌の Space Japan Opinion 欄で過去3回取り上げられてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかし、我が国で宇宙開発が始まって以来今まで宇宙の平和利用に限定された環境に慣れてきてしまった我々にとって、安全保障に係わる衛星通信技術の研究開発は従来行ってきたものとどう違うのか戸惑う。そこでここでは安全保障に係わる研究開発の仕方は従来とは異なる性質を有すると述べるとともに、我が国では衛星通信技術の国による研究開発はもう必要ないという議論⁽⁴⁾⁽⁵⁾に反論してみたい。

議論の構成としては第2章で米軍の衛星通信利用の現状と将来について公開資料に基づいてその重要性が増大していることを記述し、第3章で(独)情報通信研究機構（NICT）を例としつつ、今後の我が国における研究開発の在り方に言及する。我が国の宇宙開発が新しい段階に入るに当たって重要性が増大している衛星通信の研究の在り方を考えておくのは無意味ではないと考えるからである。

本論に入る前に、衛星通信が近年益々重要になっている背景を示す。即ち、1991年に冷戦が終結し、我々誰しも薔薇色の21世紀が到来するのではないかという期待を持った。しかし、2001年9月11日の米国同時多発テロ、それに続く戦争・テロの頻発により混沌の世紀が始まったというのが実感である⁽¹⁾。このような社会の安全確保にとって情報を取得し、必要な場所に迅速に伝えることは必須であり、この意味で情報通信、とりわけ衛星通信はその核となる技術である。第2章に述べる情報通信を要とする軍事革命は従来の戦争の概念を変革しており、より犠牲の少ない戦争の方向に進んでいることに注意する必要がある。因みに、1989年のベルリンの壁の崩壊を導く原因の一つが衛星通信・放送であることは間違いないものであり、衛星通信技術は既に人類に大きな功績を残しているといえるが、ここにきて更に戦争の仕方そのものを従来の仕方から変革させる元となってきていることに注目すべきである。

2. 安全保障における衛星通信技術の重要性

2.1 米軍における宇宙技術、とりわけ衛星通信の役割の増大

宇宙開発当初から、宇宙は軍事的に極めて重要であるが故に国の威信をかけてその開発が行われてきた。もともと宇宙は核、ミサイル、宇宙戦力の一環に位置付けられており⁽⁶⁾、重要技術であるからである。宇宙技術が有効に利用されるものとしては、まず偵察衛星が挙げられる。U2 航空機

による偵察から偵察衛星に移ったことにより領空侵犯の危険性が回避され、情報を得ることによる緊張の緩和をもたらした冷戦時の平和維持に貢献したということである⁽⁷⁾。実戦における実証としては、1982年のフォークランド紛争での偵察衛星の利用が宇宙技術が本格的に活用された最初の例とされる⁽⁸⁾が、偵察衛星の開発は1958年に衛星打上げが開始され1960年に13回目の衛星打上げでようやく成功したコロナ作戦で行われ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、冷戦での情報収集に使われた他、1967年のイスラエル・アラブ諸国の間の「6日間戦争」や1968年のソ連のチェコスロバキア侵攻などの情報収集に役立ったとされる⁽¹⁰⁾。

20世紀末から情報型軍事革命RMA (Revolution in Military Affairs)と言われる軍事大変革が起これ、兵器技術のみならずそれをどう使うか、どのような組織が最適かについても大変革が起き、戦争の形態、性格までも変わってきているという⁽¹¹⁾。即ち、工業化時代の軍隊の撃破を目的とする消耗戦から相手国の国家機能を麻痺させることが追求される麻痺戦へと変化する。情報化時代には戦争が勃発すると自国兵士のみならず敵兵士さえもできるだけ殺傷しないで目的を達成するように求められる。1991年の湾岸戦争においてはこれらの初期的利用がされたに過ぎなかったが、1999年に起こったコソボ戦争では全く新しい軍隊の運用法、編成・組織が生まれ、戦いの形態までも変わり始めたという⁽¹¹⁾。それでも軍の装備は21世紀になっても冷戦時代のものであったが、2001年9月11日の米国同時多発テロによりその変化が加速されたと言われる⁽¹²⁾。第3章で述べるが、RMAの考え方自体はランド研究所(RAND Corporation)で長い間温められていたということである⁽¹⁰⁾。以下に衛星通信がRMAの核である事実を具体的に米軍を例として記述する。

RMAの宇宙技術応用の主たるものは、情報・諜報能力の強化と長距離精密攻撃システムである⁽⁷⁾。精密兵器の発達では、イラク戦争当初において難民発生が回避できたということである⁽⁷⁾。また、軍の配備を効率的に行うものと言われる最近の米軍再編(Transformation)では、基盤となるのは軍用通信衛星TSAT (Transformational Satellite)であると言われている⁽¹³⁾。米国の安全保障政策に影響力を持つジヨン・カイル上院議員は宇宙システムへの依存度に対して「人工衛星は我が米国の軍事優位を支えている。米軍の部隊は偵察、通信、航行その他のミッションに関して衛星に依存している。現在、開発を進めている新鋭の軍事兵器システムもすべて衛星依存の度合いが高い。米軍のいかなる作戦も、通常、戦略、ミサイル防衛のいずれを問わず、宇宙依存の部分なしには機能できなくなっている。」ということである⁽¹⁴⁾。

このような情報能力の向上については、Network Centric Military Communication (ネットワーク中心軍事通信)と訳しておく⁽¹⁵⁾が注目されている⁽¹⁵⁾。即ち、情報収集とその伝達、作戦会議、指令伝達等軍事行動をネットワークを通じて極めて効率的に行うものである。そのため、情報伝送バンド幅要求は増加し、湾岸戦争で100 Mbps、アフガニスタン作戦で700 Mbps、イラク戦争で3,200 Mbpsとなっているとのことである⁽¹³⁾。特に、無人航空機UAVのオペレーションには衛星経由のバンド幅要求が膨大で、1機当たりPredatorで1.5 Mbps、Global Hawkで50 Mbpsが必要である⁽¹⁶⁾。このようなNetwork Centric Military Communicationsの具体的長所として、後述するように、攻撃までの時間の短縮が挙げられており、従来では何時間～何日も掛かったものがイラク戦争においては15分と短くなっているということである⁽¹³⁾。

図1は、2015年頃までの米空軍の宇宙プログラムを示す⁽⁷⁾。宇宙プログラムとしてはNavigation, Missile Warning, Surveillance, Weather,そしてCommunicationsを含む計画であることが分かる。

図2は、少しデータが古いが、米軍の衛星関係の予算を示している⁽¹⁷⁾。注意すべきは通信衛星(測位含む)に毎年2000億円以上使われていることで、現在も続いているとのことである。(独)宇宙航空研究開発機構JAXAの予算が約1,800億円であるから、如

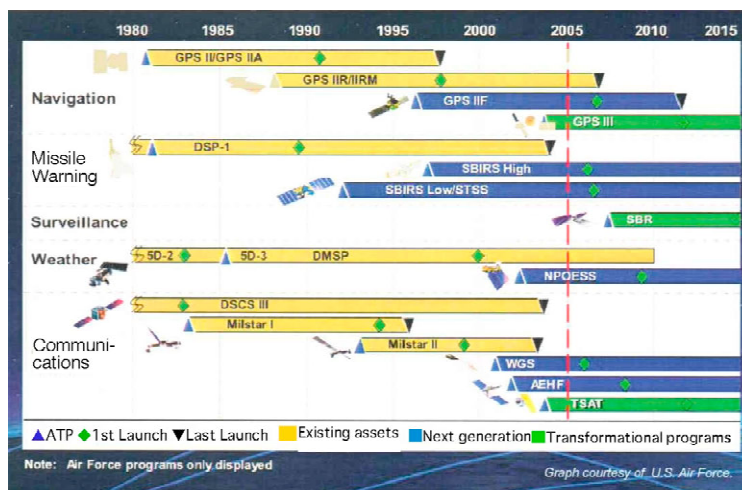


図1 米空軍の宇宙プログラム⁽⁷⁾

何に大きいかわかる。

図3は非常に示唆に富むスライドであるが、軍用通信衛星の持つべき性格を著したものである⁽¹⁸⁾。つまり、民用の通信衛星では通信容量及び運用の柔軟性が重視されるわけであるが、軍用ではもうひとつ Robustness (強靱性) が要求されることを示している。これは、後述するように最近では、“protected communication”と呼ばれているようだが、各種妨害に強いということで、ジャミング、衛星及び端末に対する攻撃、核爆発に耐える能力などが含まれる。衛星破壊のような技術が出現すると衛星攻撃兵器 A-SAT 対策も大きな課題となる。

2.2 軍事衛星通信システム MILSATCOM

米国の軍事指揮システム C4I (Command, Control, Communication, Computer and Intelligence) として現在は、GCCS(Global Command and Control System)と呼ばれているものがある⁽¹⁹⁾が、その情報通信システムの要が衛星通信システムで MILSATCOM と呼ばれる。MILSATCOM ヒエラルキーは図4に示すように、

- Hard Core と呼ばれるベンタゴンを中心とする中核部分、
- その外側の Core と呼ばれる実際の作戦行動に当たる部分、
- さらに外側の General Purpose と呼ばれる補給等の活動を行う部分

に分けられるということである⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。これらの文献は少し古いが MILSATCOM の全体像を理解するのに役立つと思われる。図5に MILSTAR, DSCS, UHF の各軍事通信衛星及び商用通信衛星の役割分担を示す⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。

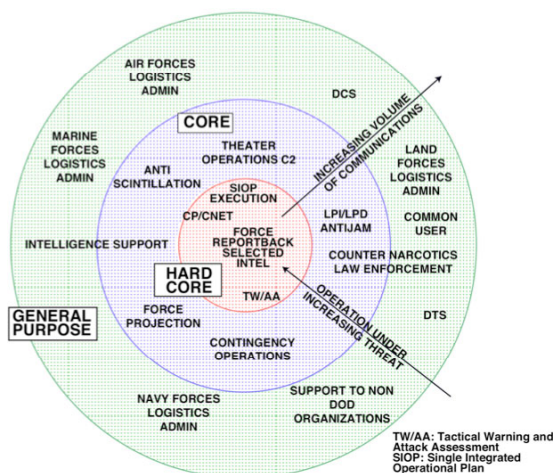


図4 MILSATCOM ヒエラルキー⁽²⁰⁾⁽²¹⁾

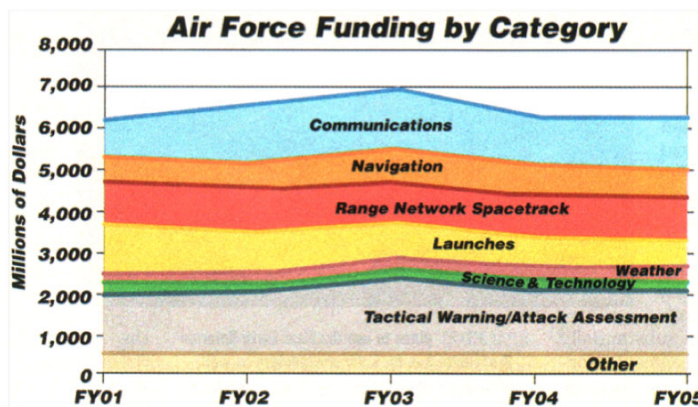


図2 米空軍の宇宙開発予算⁽¹⁷⁾

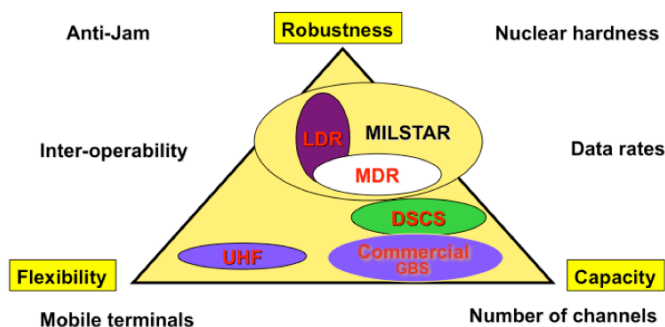


図3 軍事衛星通信の要求条件⁽¹⁸⁾

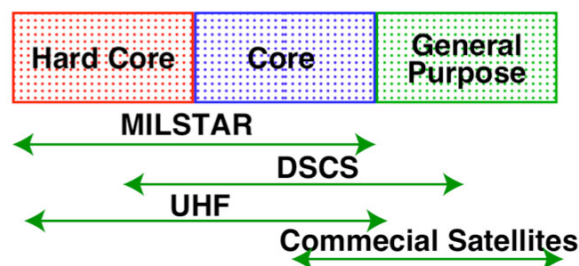
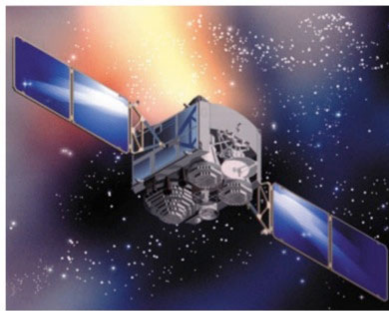
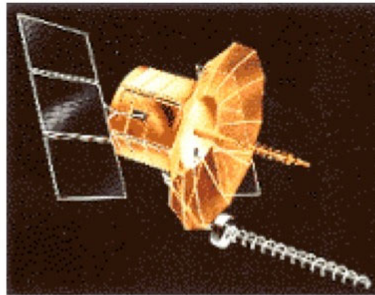


図5 軍事通信衛星の役割分担⁽²⁰⁾⁽²¹⁾

図6にこれまでの代表的な米軍事通信衛星の概要を示す。図6において、空軍では、DSCS-I 衛星を 1966～1968 年に 26 機静止軌道に打ち上げて X バンドの通信実験を行った。この流れが、



DSCS-III
1982-1992年
6機打上げ
SHF帯: 受信61
ビーム, 送信
19ビーム
[http://
www.losangeles.af.mil/SMC/
MC/index.htm](http://www.losangeles.af.mil/SMC/MC/index.htm)



FLTSATCOM
海軍
1978-1989年
8機打上げ
UHF帯
4.9mアンテナ
[http://
msl.jpl.nasa.gov/
QuickLooks/
fltsatcomQL.htm](http://msl.jpl.nasa.gov/QuickLooks/fltsatcomQL.htm)



MILSTAR
空軍
1994-2003年
6機打上げ
EHF帯
衛星間通信:
60GHz帯
Block-I: LDR
Block-II: LDR
+MDR
[http://
www.losangeles.af.mil/SMC/MC/
index.htm](http://www.losangeles.af.mil/SMC/MC/index.htm)



UFO (UHF-Follow-On)
FLTSATCOMの後継
1993-2003年
11機打上げ
UHF+EHF帯
[http://www.boeing.com/
defense-space/space/bss/
factsheets/601/uhf_followon/
uhf_followon.html](http://www.boeing.com/defense-space/space/bss/factsheets/601/uhf_followon/uhf_followon.html)

図6 旧世代の米軍事通信衛星

1971 年打上げで始まる DSCS-II シリーズに受け継がれた。DSCS-II は、1989 年まで 16 機の衛星が打ち上げられた。DSCS-II は 1982 年より DSCS-III に置き代わり、DSCS-III は 1992 年までに 6 機打ち上げられた。DSCS-III は、送信 19 ビーム、受信 61 ビームというマルチビームアンテナを搭載して、妨害対策を施している⁽²¹⁾。

一方、海軍は FLTSATCOM 衛星を用いて海軍戦術音声通信(Navy Tactical Voice)を運用している。また、これらの衛星を用いて、空軍が戦略通信用に AFSATCOM (Air Force Satellite Communications) を、陸軍が Rapid Deployment Forces (RDF: 緊急展開部隊) を、国防総省 (DoD) が広帯域通信システムを構築しているということである。FLTSATCOM の後継が UFO という衛星で、UHF 帯だけでなく、EHF(44/20 GHz)帯のミッションも搭載されている⁽²¹⁾。

MILSTAR (Military Strategic and Tactical Relay)衛星は、1994 年、タイタン 4 ロケットにより、当時世界最大の重さ 4.5t の静止衛星として打ち上げられた。以後、2003 年までに 6 機打ち上げられた。MILSTAR は、核戦争における生き残り通信の一環として MILSATCOM ヒエラルキーのすべての要求に応えようとするものであった。特に MILSTAR-I は核攻撃の前、中、後の Hard Core の要求を満たし、かつ核攻撃が互いに交わされた後も自律的に運用できるように設計されたもので、衛星及びその搭載機器は直接・間接の核攻撃に対抗するとともに、地上施設も核環境下で運用できるように設計されたということである。データ伝送速度は低速(LDR:75~2400bps)であるが、アンテナビームを操作することにより、高いジャミング対策を施すと同時に小型地球局の使用を可能としている。Block II は LDR の能力を保持した上、Core の部分の支援が十分できるように中速データ伝送(MDR: 4.8kbps~1.5Mbps)を強化した⁽²¹⁾。MILSTAR は、現在も運用中である⁽²²⁾。

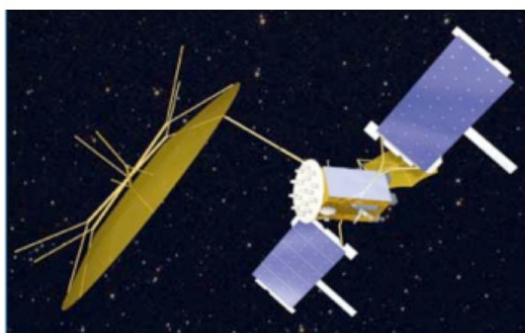
図 7 は、現在及び近い将来の米軍事通信衛星 WGS (Wideband Global Satcom), AEHF (Advanced EHF), MUOS (Mobile User Objective System) の概要を示したものである。WGS⁽²³⁾は X バンドに Ka バンドを追加して 2.5-3.3 Gbps という DSCS の 10 倍の通信容量を有し、UAV の画像伝送、テレビ会議に使われる。また、暗号を施した信号を送信でき、かつ、直接衛星放送の技術を生かしてナショナルフットボール (NFL) の生中継も可能である。WGS の初号機は 2007 年 10 月に打ち上げられ、既に 1 年以上にわたり順調に各種実験が行われ、空軍ではさらに 6 衛星を調達する計画を有している⁽²⁴⁾。AEHF 衛星は MILSTAR 衛星の後継として 2009 年中頃から打ち上げられる予定であるが、打上げが遅れているとのことである⁽²⁵⁾。



WGS: Wideband Global Satcom
DSCSの後継
Boeing 702バス
3.5トン
Xバンド中継器8
Kaバンド中継器10
4または5衛星で構成
打上げ: 初号機2007年10月
http://www.boeing.com/defense-space/space/bss/factsheets/702/wgs/docs/WGS_overview.pdf



AEHF: Advanced EHF
MILSTARの後継
Lockheed Martin
A2100バス
4トン
EHF及びSHF
75bps~8Mbps
3衛星で構成
打上げ: 2008年
<http://www.lockheedmartin.com/products/AdvancedExtremelyHighFrequencyEHF/index.html>



MUOS: Mobile User Objective System
UFOの後継
Lockheed Martin A2100バスを検討
UHF
5衛星で構成
打上げ: 2010年開始
<http://www.lockheedmartin.com/products/muos/MobileUserObjectiveSystemWaveformDe.html>

図7 米軍の新世代軍事通信衛星

図8はTSATの概要を示したもので⁽²⁶⁾、2002年の再編通信研究に基づいており、2004年に前空軍次官 Peter Teets の指導の下に防衛学者によって考案された⁽¹³⁾。TSAT衛星はDoDの再編通信アーキテクチャの中心で、静止衛星5基+予備1基、光衛星間通信を有し、NGPR (Next Generation Processor/Router)を使ってAEHFの10倍の効率を達成する。TSAT衛星は2013~2015年打上げ開始、2018年運用開始の予定で計画された。しかし、TSATの経費は150億ドルと推定されており、その経費削減のため、最近の情勢としては、光通信機能を削除し、軍事通信のIP化促進を図るための施策の核としてTSATを利用するTSAT Digital Coreとすることも検討しているようで、打上げは2016年から2019年に延びることも議論されているようである⁽²⁷⁾。ただし、この場合、グローバル通信確立のための衛星間通信機能をどうするのか不明である。

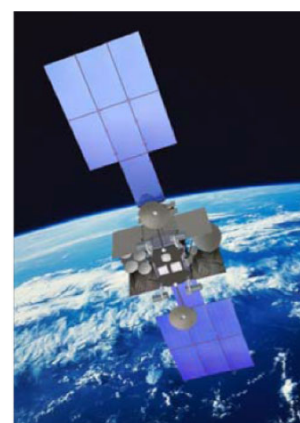


図8 TSATのBoeing社による概観⁽²⁶⁾

図9は、1960~2016年にわたる米軍事衛星通信の整備計画を示したものである⁽²⁸⁾。図9にはDSCSからTSATに至る衛星計画とおよその通信容量が示されており、初期のDSCS-Iの通信容量を1とするとTSATでは4000倍程度の容量となることを示している。また、図9には、Protected Communications と Wideband Communi-

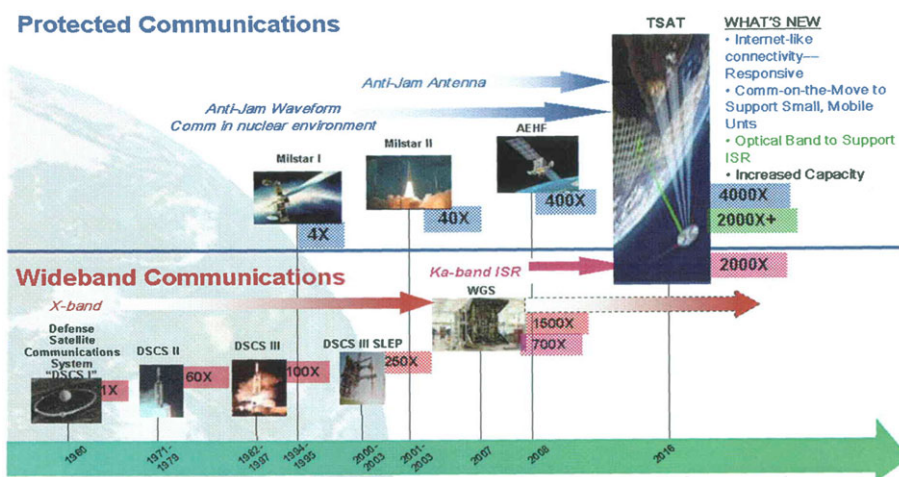


図9 米国の1960~2016年軍事通信衛星整備計画⁽²⁸⁾

cations のカテゴリーが示されている。特に前者はジャミング対策や核爆発環境における通信能力の確保、LPI/LPD (Low Probability of Intercept/Low Probability of Detection) と呼ぶ技術⁽²⁰⁾の強化を図っている。

図 10 は TSAT の導入により軍事作戦における情報の処理が格段に高速になることを示している⁽²⁸⁾。

	SATCOM	1994 Milstar I EHF LDR	2001 Milstar II EHF MDR	2008 AEHF EHF XDR	2016 TSAT EHF XDR+
 Air Tasking Order 1.1 Mbytes		1.02 hr	5.7 sec	1.07 sec	<1 sec
 Visible Image 8x10 Image 24 Mbytes		22.2 hr	2 min	24 sec	<1 sec
 Radar Image Global Hawk (120 Mbytes)		110 hr	12 min	2 min	<1 sec
 Comm On The Move		No Service	No Service	No Service	1,500 Links 1' antenna 1.5 Mbps

Internet-like Connectivity

図 10 TSAT 衛星の効用⁽²⁸⁾

2.3 軍事通信における商用通信衛星の利用

図 11 は軍事衛星通信の需要予測を示したもので⁽²⁹⁾、軍の通信衛星だけでは到底需要を満たすことはできず、米軍通信需要の 80% は商用通信衛星で賄われている。そして、将来益々商用通信衛星に対する需要は増大すると予測されている。以下は、米軍通信における商用通信衛星の利用についての INTELSTAT General, President の Ms. Kay Sears が述べているものである⁽³⁰⁾。

宇宙システム、GPS 利用の精密誘導兵器、衛星通信、画像、移動体へのブロードバンド通信が軍事システムに変革をもたらした。軍事通信衛星の特徴としては、核爆発による耐放射線、耐ジャミング性能が挙げられるが、高価であるため、配備まで長時間かかり、20 基の軍事通信衛星が存在しているに過ぎない。一方、商用通信衛星は、世界中で利用可能（ユビキタス）であること、既に 200 基が運用中で、年 12 基程度打ち上げられる。また、静止衛星には核爆発による放射線破壊はないので十分軍事通信にも利用可能である。問題は、DoD による通信容量のスポット買いにより民間では長期投資が困難であることである。また、両者とも衛星攻撃兵器には脆弱であることである。

軍事通信衛星と商用通信衛星の違いの一つは暗号化に関して商用通信衛星では地上の装置でデータの暗号化、解読を行うが、軍事衛星では衛星で暗号化するところが異なるということである⁽²³⁾。

2.4 盗聴衛星技術

通信関係の軍事衛星として、最高の機密とされている信号の傍受を目的とする盗聴衛星 Sigint (Signal Intelligence) がある⁽³¹⁾。図 12 は Trumpet と呼ばれる重量 4.5 トンの衛星で、軌道としては高々度楕円軌道 HEO ということである。アンテナの直径は 300 フィート (100 m) と言われている⁽³²⁾。ETS-VIII のアンテナをテニスコート大とすれば、これはサッカー場または野球場クラスである。これらの盗聴衛星は表 1 に示すように 1960 年代から世代を更新しながら使われてきた⁽³³⁾。注意しないといけないのは、これらの大型アンテナの技術が大型

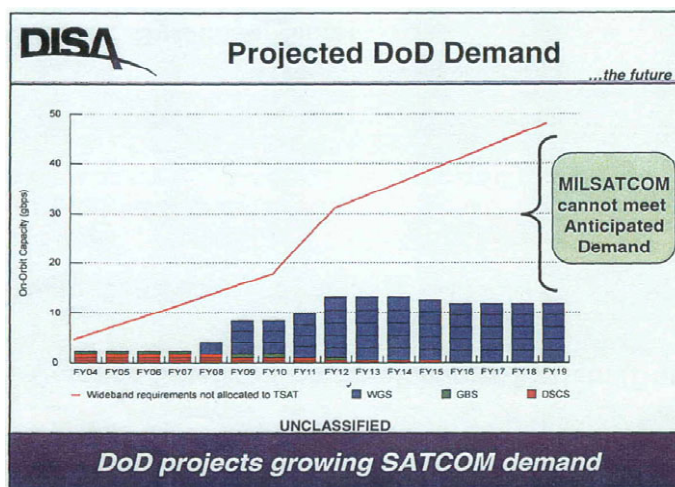


図 11 DoD の軍事衛星通信需要予測⁽²⁹⁾

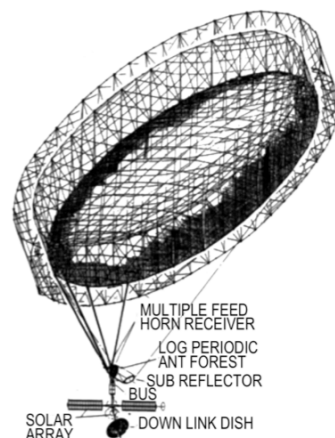


図 12 Trumpet 衛星の想像図⁽³²⁾

展開アンテナを有する移動体通信衛星に反映されているということである⁽³²⁾。

米国家偵察局（National Reconnaissance Office）の最新の大型 Sigint 衛星は Advanced Orion NROL-26 という電子偵察衛星（重量6トン、バスケットボールコートサイズ（24x15m）以上のアンテナ）で、2008年12月中旬に大型ロケット Delta IV

Heavyでの打上げが予定されていた⁽³⁴⁾。実際には同衛星は2009年1月18日に打ち上げられた⁽³⁵⁾。

このような大型の盗聴衛星については経費が大、打上げ間隔の増大、不具合の場合の損失大、A-SAT に対して弱い等の理由から、小型の衛星でしかもアンテナが小さいことから低軌道に投入するというような小型衛星を推す動きもあるようである⁽³⁶⁾。しかし、微弱な信号をある一定期間盗聴して初めて実の上がる本分野においては静止軌道から静かに盗聴する環境が今後も必要と思われる。

表1 SIGINT の発展⁽³³⁾

SIGINT Programs	First generation 1960s	Second generation 1970s	Third generation 1980s	Fourth generation 1990s	Fifth generation 2000+
GEO - USAF COMINT		Canyon	Chalet Vortex	Mercury	Intruder
GEO - CIA ELINT		Rhyolite Aquacade	Magnum Orion	Mentor	
HEO - USAF ELINT			Jumpseat	Trumpet	Prowler
LEO - USAF ELINT	Ferret	Sub-Sats			SB-WASS
LEO - Navy ELINT	GRAB	NOSS		SB-WASS	

3. 安全保障としての衛星通信技術の研究開発の在り方

3.1 安全保障関連研究が一般の研究と異なるべき点

宇宙基本法は2008年5月21日成立、同8月27日施行された。その主な内容は、宇宙開発の非軍事から非侵略へ、安全保障、産業化、研究開発などであるが、宇宙基本法の従来からの最大の変化は非侵略を前提とした安全保障面での取り組みが可能となったことであると思う。最初に述べたように、21世紀に入って世界が混沌の時代になってしまったことから、安全保障に関して、宇宙システムの役割が極めて大きくなっている。実際、宇宙システムがなければ何もできないに等しくなっており、宇宙システムの中でも特に衛星通信技術が重要となっていることは既に述べたとおりである。

このような情勢を踏まえて、我が国の研究開発の在り方について考えると、従来行ってきた研究方法とは異なるため注意すべきものとして以下の3点を指摘したい。

(1) 研究の成果の使い道まで研究者に考えさせるべきではない

まず第1点は、研究の成果の使い道まで研究者に考えさせるべきではないということである。それには宇宙基本法の背景が非常に参考になる。宇宙基本法の背景としては、文献(37)が簡潔によく纏まっている。それによると、卓越したことが記述されており、

「日本人は、科学者や研究者、専門家にだけ宇宙の開発や利用のあり方を考えることを押し付けてきたのではないか。いま宇宙に関する日本の国策を根底から変えなくてはならない。私たちはもっと広い視野から宇宙開発の意義を考えなくてはならない。それを怠ってきた責任は、間違いなく政治家にある。」

とある。つまり、宇宙開発に対して、「一般の人の関心が薄いのは宇宙関係者の宣伝方法が悪いからだ。もっと巧くやりなさい。」というようにこれまでいつも宇宙関係者のせいになされてきた。宇宙関係者が自ら一般の人に分かり易い広報を行うことは必要であるし、これを全否定するつもりはないが、従来、特に宇宙関係者は成果がどう使われるのか不明と指摘され、乏しい知識を振り絞って使い道まで考えさせられてきた。これは時間の無駄使いであるばかりでなく、優秀な頭脳を使う貴重な時間を奪っている。もっと広い視野から宇宙というものを考えていく必要はあった。宇宙基本法では政治の問題としてとらえるというわけであるから、画期的だと思われる。

このような反省が宇宙基本法のモチベーションになっているとすると、これは非常に大切なことである。つまり、安全保障上の技術の研究開発においてはその成果をどう使うかまで研究者が考えるのは越権行為と考えられることである。得られた情報をどう活用するかは高度な情報処理能力を有する専門機関の所掌であるべきである。例えばインテリジェンス技術から得られた情報をどう使うかは内閣情報調査室⁽³⁸⁾のような専門のところで行わないと重要な情報を見落としてしまう恐れがあり今後の我が国の安全性が脅かされることになる危険があると思う。

研究の成果の使い道まで考えるべきではないということ、どうやって研究テーマを立ち上げるのか問題になるが、これこそ広い視野からの判断が求められるところだと思う。一つの判断は「暗黙の了解」である。宇宙開発初期には確かに暗黙の了解があったと思われる。何から何まで晒した議論や論拠を求めるのではなく広い意味の漠然とした将来への期待といったものも理解しながら研究を進める必要があると思う。非常に大切なことにも拘わらず、近年ではこうすることが透明性が求められるあまり排斥されてしまっている感がある。しかし、安全保障上の研究では使い道まで公表しない暗黙の了解の理屈が成り立つと思う。

さらに、研究の成果の使い道まで研究者に考えさせるべきではないということ、核兵器となった原子物理学者の責任はどうかという問題もあるが、以上述べたことは従来過度に研究者に研究開発上本質的でない作業を押しつけてむしろ研究を圧迫してきたことの反省をすべきという主張であり、原爆のような大きな問題はまた別機会に議論するのが適当だと思われる。

(2) 研究開発テーマの選択と集中は取らないこと

第2点は、研究開発テーマの選択と集中は取らないことである。最近、研究について重点化、得意分野に絞れと盛んに号令がかかるが、この言葉ほど研究を駄目にしていく言葉はないといってもいい⁽³⁹⁾。選択と集中という動きのなかで、いらないものを切っていくことを積み重ねると、ついには何も残らなくなる。切っていく度にその分野の人材が失われていく。いざ必要だという時に取り返しがつかなくなる。ポートフォリオが成り立たない。特に、安全保障に関係する研究は、得意とするものへの重点投資と重複の排除のトレンドで行うと危険である。一見無駄に見えるかもしれないが、将来何に使えるか分からないような技術の研究開発にも、初期の段階ではそれほど多額の資金を必要としないものであるので、投資をしておくことは重要である。

研究開発テーマの選択と集中というと、どうしても上述したように切っていくというイメージが強いので、多くの種々雑多な研究を残しつつその中からいいものをピックアップして育てるというイメージだと研究者をディスカレッジしないと思う。この意味で、「研究開発テーマの抽出と強化」という言葉はどうであろうか。要は安全保障に関する研究プログラムにおいて基礎研究強化への資金の流れを作ることが重要であるということである。ランド研究所においてもその設立において基礎研究に多額の資金を投じることが提唱された⁽¹⁰⁾。

それでは何を研究するかであるが、基本的には研究者がやりたいことを進めるのが一番である。この際、テーマをどうやって見つけるかだが、これが研究にとって一番大切であるが、理想的には自分で見つけることである。ただ、リーダーは研究者が興味を持ちそうなテーマの大まかな提示は必要であり、また研究者が興味を持って行う研究テーマを大きく育てる目利きであることが望ましい。この際、ボトムアップかトップダウンかという永遠の課題もあるが、やりたいことと組織とのマッチングを研究マネジメントとしては何とか取ることが必要である。一つは、Organized Chaosということのアラスカ大学の赤祖父俊一教授から聞いた⁽⁴⁰⁾。要は細かいところまで研究テーマを調整するのではなく、大きなテーマに向かうと自然に組織だってくるという意味で、強制的に個々のやり方を統一するというよりも、大きな目標の下で組織が纏まるという意味である。Organized Chaosと同様のことが、2007年1月26日付けの日本経済新聞の江崎玲央奈博士の「私の履歴書」の記事の中で「組織化された混沌」として記述されている⁽⁴¹⁾。

しかし、このようなことを民間企業で行うことは一般には困難であるので、安全保障、防衛に関する研究開発は国で行う必要がある所以である。基礎研究強化という観点から独立行政法人で現在行われている研究評価は要検討である。今、研究の現場では、中期計画に書かれたもののみを一生懸命やることが求められ、新しいもの、とんでもないものの研究をそとでも行おうという意気込みが失われつつあると思う。

(3) 国が衛星通信の研究を進めていくことが必須

第3点として、国が衛星通信の研究を進めていくことが必須である。国が安全保障の分野で通信衛星を調達していくようになることを考えると、国に研究も含めて衛星がよく分かっている人が絶対に必要である。その際、研究を進めるには、前述したように、暗黙の了解が不可欠である。例えば、衛星搭載アンテナ技術の研究において、当面は民用の移動体通信衛星に必要な大きさのもののだけで十分かもしれないが、将来的には前章で述べた盗聴衛星にも発展する可能性を残すものである。より大型のアンテナの研究開発をしておく必要がある。しかし、このような技術は前述したように機密度が最高であるので、公表することなく国が持たなければいけない技術である。もうひ

とつ、通信衛星が安全保障に必要で国がその製造を民間会社に発注するとしても、国側に衛星がよく分かっている人がいないと丸投げになる。丸投げのような事態は1990年代に米国で衛星の失敗例が多く起こった原因でもあった⁽⁷⁾。

国が必要という、NASAではACTS (Advanced Communications Technology Satellite) プログラム⁽⁴²⁾を2004年5月に終了して以来通信衛星開発プログラムがないということで我が国でも国が行う必要がないようなことをいう人がいるが、この根拠は薄弱である。というのはNASAの人によると通信衛星開発プログラムはないが、NASAは通信の専門家を保持しており、深宇宙を初めとして研究が行われている。事実、最近の報道によればNASAは次世代の深宇宙通信システムを光通信技術と惑星間インターネットプロトコルを使って更新する準備を進めているようである⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾。また、前述したように、軍においては厳然として通信衛星に関する研究は大規模に行われており、公表されていないだけである。このような事態は原子力発電においても同じであるようだ。1979年のスリーマイル島の事故以来米国で新設されていないことから、米国では原子力技術の維持蓄積に困難をきたすはずであるが、実際にはその技術は軍の中に保たれているということであり、軍事を機軸にエネルギー分野で原子力技術を研究開発、蓄積ができるのが米国であるということである⁽⁴⁵⁾。

3.2 情報の取得と取扱

安全保障関連では情報の秘密保持が大切であるが、何でも100%秘密にしておいては研究の広がりがなく投資の波及効果も期待できない。ランド研究所の言葉であるが、安全保障という目標達成には絶え間ない技術革新が必要であるので⁽¹⁰⁾、常に性能の改善や次世代というものを目指していく必要がある。この際、念頭に置くべきなのは、秘密情報の95~98%は公開情報を再整理することによって得られるということである⁽³⁸⁾⁽⁴⁶⁾。したがって、安全保障関連の研究といっても秘密情報ばかりに囲まれているわけではなく、学会活動などを通じたむしろ幅広い活動をした方が優れた研究ができる可能性がある。

衛星通信の研究はシステムの全体像を視野に入れて研究を進めるべきものであるが、このとき、システム主要部は機密扱いとするのは当然だとしても、要素技術の研究はできるだけ発表を奨励するのはどうであろうか。また、機密システム性能の例えば50~70%のもの、即ち一世代前のシステム性能、を公表し、それでも学会トップクラスとなるものを目指すべきであろう。この際、性能値そのものの発表というよりもその性能に達するための最適、最大、最小などの研究手法を究め、発表していくことが研究のレベルを上げるためにも大切であることである。ただし、発表するか否かの管理はきちんと行うべきで、従来我が国では安全保障にも関係すると思われる詳細なデータまで公表されてきた感があることは注意すべきである。

3.3 公的研究機関の研究課題について

最後に、以上述べたような我が国の宇宙開発の情勢の変化に対して、公的研究機関の研究課題について考えてみたい。筆者は文献(1)において公的研究機関の研究課題は安全保障関連に集中したらどうかという提案を行った。安全保障に関する研究所として有名かつ最も成果を上げたのは米国のランド研究所である。文献(10)によるとランド研究所は1946年に設立されたが、国家安全保障上の脅威に対する上で必要な解は外交よりむしろ科学にあるという思考方法から発しており、今日のRMAの考え方、インターネットの基礎たるべきパケットスイッチング技術などが研究され、1946年から人工衛星打上げの可能性の調査に着手したとのことである。ランド研究所は米空軍の全面的な支援の下に水爆の研究を行うなど近寄りがたい側面を持つが、優秀な頭脳を第2次大戦終結後に散らさないという主旨を担っていることもあり、その設立においては以下のような見習うべき理念が含まれている。

- 基礎研究に従来以上の多額の資金を投じること。
- 自身の研究を進める上で必要な自由を最大限与えるべきであること。
- いろいろな制約を最小限に止めれば、今まで想像できなかったような新しい貢献をできると考えられること。
- 独創的・創造的な思考を促す上で最も効果的な方法は研究者全員に同等の権限を与えて競争させること。

以上の米国での場合のような安全保障に関する研究所にびったり一致する我が国の例は見あたらないと思われるが、強いて例として、NICTのような研究機関で宇宙通信研究がどのように対応していくべきか考えてみたい。衛星通信に関する研究課題を考えることとすると、研究開発の進め方については、従来の研究開発の理念、すなわち、新しい周波数帯の開発、資源の有効利用技術の開発、は今後も妥当ではないかと思われる。ただし、前章に述べたように安全保障上の技術としては通信容量や運用の柔軟性の増大の追究だけでなくシステムの強靱性も追究する必要がある。強靱性には、妨害（ジャミング）や核爆発に耐える技術が含まれるが、前者に対しては信号処理やアンテナビーム形成技術が重要であるし、後者に対してはミリ波帯以上の衛星通信技術が重要である⁽¹⁸⁾。核爆発に関しては1960年代の冷戦の最中に研究され尽くされたものとも思えるが⁽⁴⁷⁾、核爆発のプラズマ環境下での電波伝搬などを理解している研究者は必須である。安全保障上の宇宙通信技術でみればそれを構成するものとして、

- 通信（固定、移動、ブロードバンド、衛星間通信、ソフトウェア無線技術）
- 測位（準天頂、日本版GPS）
- 監視・警告（盗聴、撮像、ミサイル警告、赤外線探知）
- 電波伝搬（電離層伝搬、宇宙天気予報含む）

があると思うが、従来、電波研究所、通信総合研究所時代から培ってきたNICTの研究はほとんど安全保障の研究にとって重要なものであることがわかる。従って、このような観点で研究者の散逸を防ぎつつ、研究課題の位置付けを明確にして再認識することが重要だと思われる。

最後に、もう1度ランド研究所の言葉を引用すると「国家安全保障という目標達成には絶え間ない技術革新が必要」である⁽¹⁰⁾。肝に銘ずべしということではないであろうか。

5. おわりに

ここでは、宇宙基本法成立に伴う宇宙開発環境の変化、特に、安全保障に係わる衛星通信技術の研究開発が従来の研究の仕方とどう違うのかを議論した。第2章で戦争自体が変化するRMAが進んでおり、衛星通信はその要の技術として重要性が増大していることを米軍の衛星通信利用の現状と将来について公開資料に基づいて述べた。第3章で今後の我が国の研究開発の在り方を考え、従来の研究と異なる点として、研究成果の使い方まで研究者に考えさせるべきでないこと、研究開発課題を絞らないこと、国が衛星通信の研究を続けることが必須であることを述べた。最後に国の研究機関としてNICTを例として行うべき研究を考え、従来の研究課題でほとんどの必要な研究課題を網羅しているが、その位置付けの再認識が重要なことを述べた。

ここで2つ申し上げたい。第1は研究者、特に若い研究者からの研究提案が不可欠だということである。それには理念とか目標の明確化、研究開発すべき技術課題に対する深い理解を有する研究指導者が必要である。第2には、この種の研究には暗黙の了解が不可欠だということを述べたが、広い意味の漠然とした将来への期待といったものも理解しながら研究を進める必要があると思う。そのためには研究指導者の素質が非常に大きく影響すると思われる。衛星搭載機器は宇宙実証を経て始めて実用になるという特殊性を十分理解しておく必要がある。この辺が宇宙を知っている者が研究をマネージするか否か大きな問題である。皆様の今後のディスカッションを期待します。なお、本稿を簡略したものを2009年2月26日に開催された電子情報通信学会衛星通信研究会・宇宙・航行エレクトロニクス研究会合同研究会にて発表した⁽⁴⁸⁾。

最後に、御議論頂いたAIAA-JFSC SJR編集委員会の植田、小淵、北爪、鈴木、福地、若菜の各委員とNICTの下世古氏に深謝します。

参考文献

- (1) 飯田尚志: "Space Japan Opinion: 風を読めるか", Space Japan Review, No.35, Jun./Jul. 2004.
- (2) 北爪 進: "Space Japan Opinion: 日本の安全保障と宇宙開発", Space Japan Review, No.36, Aug./Sep. 2004.
- (3) 植田剛夫: "Space Japan Opinion: 宇宙利用と安全保障", Space Japan Review, No.37, Oct./Nov. 2004.
- (4) "巻頭対談 これからのJAXA 対談立川敬二 山根一真", JAXA's, No.001, Mar.31, 2005.

- (5) "テクノロジー 宇宙機構 通信衛星開発から撤退 国の研究テーマ減る", 日本経済新聞(朝刊), Feb.8, 2008.
- (6) 茅原郁生 (編集): "中国の核・ミサイル・宇宙戦力", 蒼蒼社, Jul. 2002.
- (7) W.F.Ballhaus,Jr.: "Successes and Challenges in Transforming National-Security Space", Aerospace Science Meeting, AIAA-2005-2002, Jan.12, 2005.
- (8) "諸外国の衛星技術," 経団連・防衛生産委員会, Nov. 1995.
- (9) M.D.Rich: "RAND's Role in the Corona Program: Remarks on the 35th Anniversary of the First Successful Mission", RAND, 1998.
<http://www.rand.org/pubs/papers/2006/P8017.pdf>
- (10) アレックス・アペラ[牧野洋訳]: "ランド 世界を支配した研究所", (株)文藝春秋, Oct.30, 2008.
- (11) 中村好寿: "軍事革命 (RMA) <情報>が戦争を変える", 中公新書, Aug.15, 2001.
- (12) リチャード・マイヤー大将, 前統合参謀本部議長, 日高ワシントンレポート, テレビ東京, Sep.17, 2006.
- (13) J.W.Canon: "Timing in battle: The T-Sat edge", Aerospace America, pp.39-43, Jan. 2006. (飯田尚志 翻訳: "レポート: 戦闘におけるタイミング: T-Sat の威力 ", Space Japan Review, No.45, Feb./Mar. 2006.)
- (14) 稗田浩雄: "宇宙基本法一宇宙開発への課題", 航宇誌, Vol.55, No.642, pp.2-7, July 2007.
- (15) C.A.Nissen and T.Maseng: " Network-Centric Military Communications ", IEEE Communication Magazine, pp.102-104, Nov. 2005.
- (16) 岩狭, 田村, 柿谷: "世界の軍用ロボットカタログ", アリアドネ企画, 三修社, 2002.
- (17) L.M.DeFrance: "Military Space Market Looks Robust As NASA Goes Commercial", Aviation Week & Space Tech., Vol.153, No.18, Oct.30, 2000.
- (18) "Satellite Communications (SATCOM)", Business of Space, Space Operations School, Tactical School of Space, Space Warfare Center, Dec.5, 2001,
[http://www.losangeles.af.mil/Special Interest/Business of Space/2 smc course/3 _communications/satcom.ppt](http://www.losangeles.af.mil/Special%20Interest/Business%20of%20Space/2_smc_course/3_communications/satcom.ppt)
- (19) <http://www.globalsecurity.org/wmd/systems/gccs.htm>
- (20) CDR J.D.Smith II and N.J.Pappageorge: "MILSTAR System Use Concept", AIAA 15th International Communication Satellite Systems Conference, No.AIAA-94-1018-CP, Feb.27-Mar.3, 1994.
- (21) 飯田尚志: "軍用衛星通信システムの最近の動向について", 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会, SANE94-72, Dec.16, 1994.
- (22) "News Brief: Observers: U.S. Air Force Extends Milstar Operations Contract", Space News, Vol.19, No.47, p.3, Dec.1, 2008.
- (23) M.Mecham and A.Butler: "Space Technology: Wideband Solution --As it prepares for a second launch, USAF is already reaping benefits from WGS", Aviation Week & Space Technology, Vol.169, No.22, pp.44-46, Dec.8, 2008.
- (24) "News Briefs: U.S. Air Force Moves Toward Buying Six WGS Satellites", Space News, Vol.20, No.5, p.8, Feb.2, 2009.
- (25) T.Brinton: "Technical Issues Cause AEHF Cost Growth, Launch Delay", Space News, Vol.20, No.1, p.7, Jan.5, 2009.
- (26) http://www.boeing.com/defense-space/space/tsat/docs/TSAT_overview.pdf
- (27) T.Brinton: "U.S. Department of Defense Plan Would Scale Back T-Sat Capability", Space News, Vol.19, No.42, p.1, Oct.27, 2008.
- (28) Colonel William Harding: "Military Satellite Communications", AIAA 26th International Communication Satellite Systems Conference Colloquium, Jun.9, 2008.
- (29) D.J.Curtin: "XTAR, LLC Dual/Multi Use X-Band", AIAA 26th International Communication Satellite Systems Conference Colloquium, Jun.9, 2008.

- (30) "Viewpoint: Time for Satcom Partnership", Aviation Week & Space Technology, Vol.169, No.9, p.70, Sep.8, 2008.
- (31) 江畑謙介: "最新・アメリカの軍事力-変貌する国防戦略と兵器システム", 講談社現代新書, No.1594, Mar.20, 2002.
- (32) C.Covault: "NRO Radar, Sigint Launches Readied", Aviation Week & Space Tech., Vol.147, No.9, pp.22-24, Sep.1, 1997.
- (33) <http://www.fas.org/spp/military/program/sigint/index.html>
- (34) C.Covault: "World News & Analysis: Night Fright --NRO braces for flight of eaves-dropping spacecraft on agency's first Delta IV Heavy", Aviation Week & Space Technology, Vol.169, No.22, pp.26-28, Dec.8, 2008.
- (35) <http://www.ulalaunch.com/index.html>
- (36) A.Butler: "World News & Analysis: Mixed Sats", Aviation Week & Space Technology, Vol.169, No.22, pp.28-29, Dec.8, 2008.
- (37) 河井克行, 五代富文, 田中俊二, 志方俊之, 稗田浩雄, 中須賀真一, 青木節子: "国家としての宇宙戦略論", (株)誠文堂新光社, Aug.4, 2006.
- (38) 大森義夫: "日本のインテリジェンス機関", 文春新書, No.463, Sep.20, 2005.
- (39) 柳田博明: "私の主張 研究開発の危険なワナ 「選択と集中」は正しいか", 日刊工業新聞, Mar.19, 2001.
- (40) アラスカ大学赤祖父俊一教授発言より, CRL 外部評価委員会, 1996.
- (41) 江崎玲於奈: "私の履歴書 ② 受賞者の使命", 日本経済新聞(朝刊), Jan.26, 2007.
- (42) R.T.Gedney, R.Schertler and F.Gargione: "The Advanced Communications Technology Satellite", Scitech Publishing, Inc., 2000.
- (43) B.Berger: "Griffin: Lasers Key to Space Comms", Defense News, Vol.23, No.38, p.46, Oct.6, 2008.
- (44) B.Iannotta: "NASA Designs Internet-Style Deep Space Communications System", Space News, Vol.19, No.47, p.12, Dec.1, 2008.
- (45) 寺島実郎: "'爆食国家'中国の暴走を止めよ 新・エネルギー摩擦 日本の危機", 文藝春秋, pp.94-117, Apr. 2007.
- (46) 手嶋龍一, 佐藤優: "インテリジェンス 武器なき戦争", 幻冬舎新書, 2006.
- (47) N.C.Mohanty: "Space Communication and Nuclear Scintillation", Van Nostrand Reinhold, 1991.
- (48) 飯田尚志: "[特別講演]安全保障としての衛星通信: その役割の増大と今後の研究の一進め方", 電子情報通信学会衛星通信研究会・宇宙・航行エレクトロニクス研究会合同研究会, No. SAT2008-64, SANE2008-119, Feb.26, 2009.