

新たな衛星通信とインターネットの開く社会の将来像

市吉 修
二十一世紀を楽しく生きよう会

1. 私と衛星通信の関わり

日本電気(NEC)に入社

私は昭和 48 年(1973)に九州大学大学院修士課程(電子通信)を修了して日本電気(株)に入社しました。一月余の入社研修の後横浜市鴨居にあった無線事業場のマイクロ波衛星通信事業部衛星通信開発部に配属になりました。当時は世界初の商用衛星通信であるインテルサットの SPADE 方式が客先に納入され運用段階に入ったところでした。当時の日本は高度成長の真只中で衛星通信も次々に新しい技術が開発され工場全体が活気に満ちていました。最初の一年は専門書を読みながらパネル規模の回路設計を行い経験を積むと共により大きな装置設計を任されるようになりました。最初は主としてインテルサット SCPC システムの共通 AFC(受信信号中の Pilot 信号により AFC をかけて受信信号全体を正しい周波数に制御する)装置の設計が主たる任務でした。

AFC 機能を備えた PLL

当時 AFC のためには位相同期回路(Phase lock loop, PLL)が広く使われていました。PLL は位相同期により周波数誤差を 0 にできる優れた特性を有していますが難点は引き込み特性にありました。即ち位相同期が可能な初期周波数誤差に限りがありその範囲を越えた初期周波数誤差のある場合にはいつまで経っても同期補足が達成されません。受信信号の C/N が低い時には同期周波数範囲は更に狭くなってしまいます。研究の結果低 C/N 条件のもとでも確実に周波数誤差を検出してその誤差の負帰還による AFC で先に周波数誤差を小さくして行って PLL の引き込み範囲までくると自動的に位相同期状態に達する方式を開発して問題を解決しました。これによって初めて特許も取得しました[1]。

TDMA 方式

1970 年代の後半から衛星通信は TDMA 方式が主流となって来ました。TDMA 方式の利点は各送信局が時間をずらして短時間信号(Burst)を送信する事により各瞬間には一波しか無いので衛星中継器の増幅器を最大電力で動作させる事ができる点にあります。各送信局の送信信号が衛星上で衝突しないように各送信局はタイミング制御を行う必要があります。これをバースト同期制御と言いますがその方式は大別してクロック同期方式とクロック非同期方式の二つに分類されます。

クロック同期方式は電電公社によって提唱され何年も前に既に衛星実験も行われていました。基準局のバーストに他のすべての局(従局)が衛星を含む PLL を用いてクロック位相同期を行うことによりあたかも同一局から発信したかの如き信号となり同期を確保します。前後の異なる局からのバースト信号間には保護時間が不要となるため伝送効率が高い事が特長です。他方クロック非同期方式は各局のバースト信号の前後にガードタイムと称する空時間を設けガードタイムの範囲でタイミング誤差の生じるのを許す方式です。クロック非同期方式は同期方式に比べて多少効率は劣るものの同期制御が簡単なので電々公社以外の Intelsat, Eutelsat その他各国の Domsat システムで広く応用されました。私は両方の方式のクロック同期装置の開発を担当しました。

Intelsat 出向

1982 年から二年間 Intelsat に派遣され R&D 部門において将来の Intelsat システムの研究に従事しました。

この時期は国際電話の 2/3 を Intelsat が運んでいた正に全盛期でした。ただし Orion 社他の民間企業が国際衛星通信に参入を試みていましたし、光 fiber の海底ケーブルも敷設が進みつつあり Intelsat の将来に不確定要素が生じつつある時期でした。

一括処理多重変復調技術の開発

1984 年に NEC に復帰後は Trans multiplexer (TMUX) を用いた多重変復調装置 (Intelsat SCPC 12 チャンネルを一括処理により変調多重、受信側にて一括分離復調) の開発に従事しました。これは今日デジタル放送や無線 LAN、次世代高速移動通信に用いられる OFDM 方式を特殊例として含む一般性を有する先駆的な仕事でした。もう一つの多重変調信号復調装置は弾性表面波 (SAW) の chirp filter を用いた Chirp-Z 変換により多数の変調信号 (15kb/s の変調波 400 波) を分離復調する装置を開発しました。TMUX は FFT と Digital filter を用いるデジタル信号処理 (DSP) であるのに対して SAW Chirp-Z 変換は完全にアナログ処理であり消費電力が格段に少なく済む特長があります。

移動体衛星通信の開発

1987 年から 2001 年までは移動体衛星通信の開発に専従しました。まず電波研究所との共同研究によって技術試験衛星 5 号 (ETS-V) を用いた陸上移動通信の実験を行いました。アンテナは 15dB 自動追尾アンテナ、15dB ヘリカルアンテナ、3dB 無指向性アンテナの三種を開発しました。変復調装置はデジタル変調 9.6kbps、8kbps、4.8kbps の三種と MPC 方式の音声符号器を組み合わせたデジタル音声伝送の他に ACSSB アナログ音声伝送も可能な多機能可変速度 MODEM を開発しました。それらを用いて武蔵小金井の電波研究所の周辺、鹿島の衛星通信所の周辺およびオーストラリアのシドニーにおいても走行実験を行い移動体衛星通信の基礎データを収集しました。

次に Inmarsat より次世代陸上移動通信 Inmarsat-M 方式の端末の開発を受注しました。それによって開発された装置を用いて 1992 年に米国 Comsat 社と共同で英国の豪華客船 QE2 に乗せて大西洋横断中に乗客や乗務員約 300 名の皆様に世界中に電話をしてもらい Inmarsat-M 方式の実用性を実証しました。

Inmarsat は 21 世紀をにらんだ計画として全世界携帯通信が可能な Inmarsat-P システムの仕様を確定してその事業化のために別会社 ICO Global Communications を設立しました。NEC は主契約者としてそのシステムを受注しました。そのため私は 1997 年から英国の London に出向してそのシステム開発に従事しました。当時は我が国においては PDC、欧州においては GSM の所謂第二世代のデジタルセルラー通信の普及が加速的に進展していた時期であり ICO システムが対象としていた市場が急激に狭まり、ついに 1999 年後半に ICO 計画は中止になりました。

超高速インターネット衛星通信

二十一世紀に入って急激にインターネットの応用範囲が広がるとともに Broadband 化の要求が高まって来ました。米国 Hughs 社の DirecPC や我が国の NTT Satellite Communications 社の Megawave に代表される直接衛星放送 (DSB) システムを用いて IP/DVB 方式で広域的な超高速インターネットを提供する事業が開始されました。国としては数 Gbps 級の超高速インターネット衛星の開発計画が始まりその WINDS 計画の受注活動と受注後のシステム開発に従事しました。

定年退職

私は 2007 年に NEC を定年扱退職しました。

2. 新たな衛星通信の提案

現在は自宅の庭に建てた研究室で新たな衛星通信の技術研究と事業化検討を行っています。過去 10 年間の地上網の移動通信とインターネットの急激な成長によって衛星通信の応用分野が狭まりました。その最も適した分野と思われる衛星放送分野においても市場の成長は止まっている状況です。しかしながら私は衛星通信には新たな応用分野と成長可能性があると考えています。その広域性、同報性、多元接続性の特長を活かした新たな衛星通信網を提案します。

2.1 完全直接衛星放送 (Perfect DSB)

完全直接衛星放送とは

現在の BS/CS 放送は送信局が東京に一極集中しています。そのため沖縄や北海道あるいは離島から直接全国に放送する事はできません。地方からの放送は地上の通信網もしくは衛星通信を通じて一旦東京の放送局と接続し、そこから全国に衛星放送を行う間接的な方法しか無く手数料も通信費用もかかるので殆ど用いられていません。即ち受信は直接的ですが送信は間接的です。更に受託衛星放送事業者が SkyPerfecTV 社の一社独占となっています。この送信側のチャンネルの狭さが放送内容の貧困を招き、衛星放送の成長を阻害していると考えられます。仮に沖縄、北海道をはじめ全国の離島、山間僻地から直接に衛星に向けて発信し既存の直接衛星放送端末で受信可能なシステムがあれば、全国各地から多種多様な内容の情報が一挙に全国向けに放送され、衛星放送は更に成長する事が期待されます。受信に止まらず送信も直接衛星と接続する事から従来の直接衛星放送と区別するために完全直接衛星放送(Perfect DSB)と呼んでいます。

完全同期 TDMA

完全直接衛星放送は前述のクロック完全同期 TDMA を用います。この方式では衛星にバースト信号を送信するすべての送信局は基準局のバースト信号にクロックの位相を同期させます。そうすると衛星の下り回線信号はあたかも一つの局から送信されたと同様の信号になり既存の CS 放送端末で受信可能になります。今通信容量が 30Mb/s の衛星中継器を用いて 3Mb/s の伝送速度で TV 放送を行うものとすると同時に 10 局が放送を行う事ができます。すなわち全国各地の 10 箇所から同時に全国向けの直接衛星放送が実施可能となります。

日本において JCSAT-4 衛星を用いた場合の衛星回線設計例を表 1 に示します。この表より分かるように送信局は直径 1.2m のアンテナと降雨マージンを 15dB として最高電力 700W 程度の HPA で十分です。即ち車載用装置でも可能であり全国何処からでも現地からの直接生放送が実施可能となります。受信局は既存の CS 放送受信端末で受信可能です。提案システムの技術詳細については文献[2]をご覧ください。

表 1 Link-Power-Budget

項目	規格		備考
UPLINK			
送信地球局			
送信機出力(dBW)		13	RF 出力 20W.
送信アンテナ利得(dBi)		43	直径 1.2m. 効率 60%
Feeder 損失(dB)		0.5	
EIRP(dBW)		55.5	
自由空間損失(dB)		207	$f_u = 14(\text{GHz})$
衛星			JCSAT-4 相当
G/T(dB/K)		10	推測
ボルツマン係数 k(dB)		-228.6	
Uplink C/No(dB/Hz)		87.1	
DOWNLINK			
衛星			
トラポン出力 (dBW)		18	75W, 12GHz
アンテナ利得(dBi)		37	効率 1/2
Feeder 損失(dB)		0.5	
EIRP(dBW)		54.5	
自由空間損失(dB)		206	12GHz
受信器	利用者端末	衛星地球局	
G/T(dB/K)	10	17	利用者端末 / 地球局
ボルツマン係数(dB)			-228.6
Downlink C/No(dB/Hz)	87.1	94.1	

総合 C/No(dB/Hz)	84.1	86.3	
情報伝送速度(dB.Hz)		75.0	30Mb/s
Eb/No(dB)	9.1	11.3	
通常品質の運用時 Eb/No(dB)		5.0	
回線余裕(dB)	4.1	6.3	

2.2 直接衛星 LAN (DS-LAN)

直接衛星 LAN は直接衛星放送とインターネットを結合したシステムです。

BS/CS 等の直接衛星放送の送信局に DS-LAN サーバを設置してインターネットと直接衛星放送を結合します。直接衛星 LAN サーバはインターネットと衛星放送網の接続点に位置してプロトコル変換を行う事により IP/DVB 方式で衛星放送回線を用いて IP 通信を行います。IP アドレスは Local IP address を用いる文字通りの直接衛星 LAN です。直接衛星 LAN サーバは IP Masq を用いた NAT 変換により直接衛星 LAN をインターネットに接続するネットワーク処理を行います。更に Application としては表 2 に示す動作を行います。また直接衛星 LAN のシステム構成を図 1 に示します。

図 1 から分かるように直接衛星 LAN は衛星放送網とインターネットを DS-LAN サーバで結合したものです。インターネット側から見るとインターネットを構成する無数の LAN に一つの LAN が追加されたに等しく、衛星放送網側から見ると IP/DVB によって衛星放送回線を下り回線、インターネットを上り回線として用いることにより双方向性を獲得した衛星放送が実現する事になります。インターネットにおいて本来放送(Broadcast)は実行不可能ですが、放送網を一つの LAN として取り込む事により、広域 LAN による実際上の放送機能を実現する事ができます。

その特長を最も活かせる通信が直接衛星 LAN の遠隔会議です。発言者の信号はインターネットで会議サーバに運ばれ、視聴者には衛星放送回線で伝送されます。直接衛星 LAN の遠隔会議のインターネットでの遠隔会議システムに対する特長は極めて多数の参加者による会議が可能な事です。その特長を活かして公的機関による各種公聴会、国民参加の国政討論会、タウンミーティング、講演会、遠隔講義などが容易に実施可能です。

表 2 直接衛星 LAN サーバの応用レベルの機能

機能	動作
番組表制御	利用者はインターネットを通じて番組表を読み出し、空いている時間に予約を入れる。予約した時間に次のようなサービスを受ける。
蓄積番組放送	利用者が予めサーバに蓄積しておいた番組を予約時間と共に読み出して放送する。
データ配信	利用者はサーバを通じて電子図書館でデータを探索し、目的のデータの配信を予約する。配信サーバはそのデータの一斉配信時刻と受信に必要な情報を与え、利用者の衛星受信装置はそれを記憶する。予約時間の少し前になると受信装置は自動的に受信準備をして待ち受ける。予約時間になると配信サーバは予約されたデータを衛星回線で一斉配信する。
インターネット放送	直接衛星 LAN を一つの LAN としてインターネット放送を衛星回線で配信する。
衛星インターネット	遠隔地の利用者が電話回線を用いてサーバに接続してインターネットに入りインターネットからの帰りは衛星回線でデータを利用者に届ける。
遠隔会議	会議サーバによって発言者の信号はインターネットで衛星放送送信局に運ばれるように制御され、サーバに届いた発言者の信号は衛星放送回線を通じて全国に同報される。

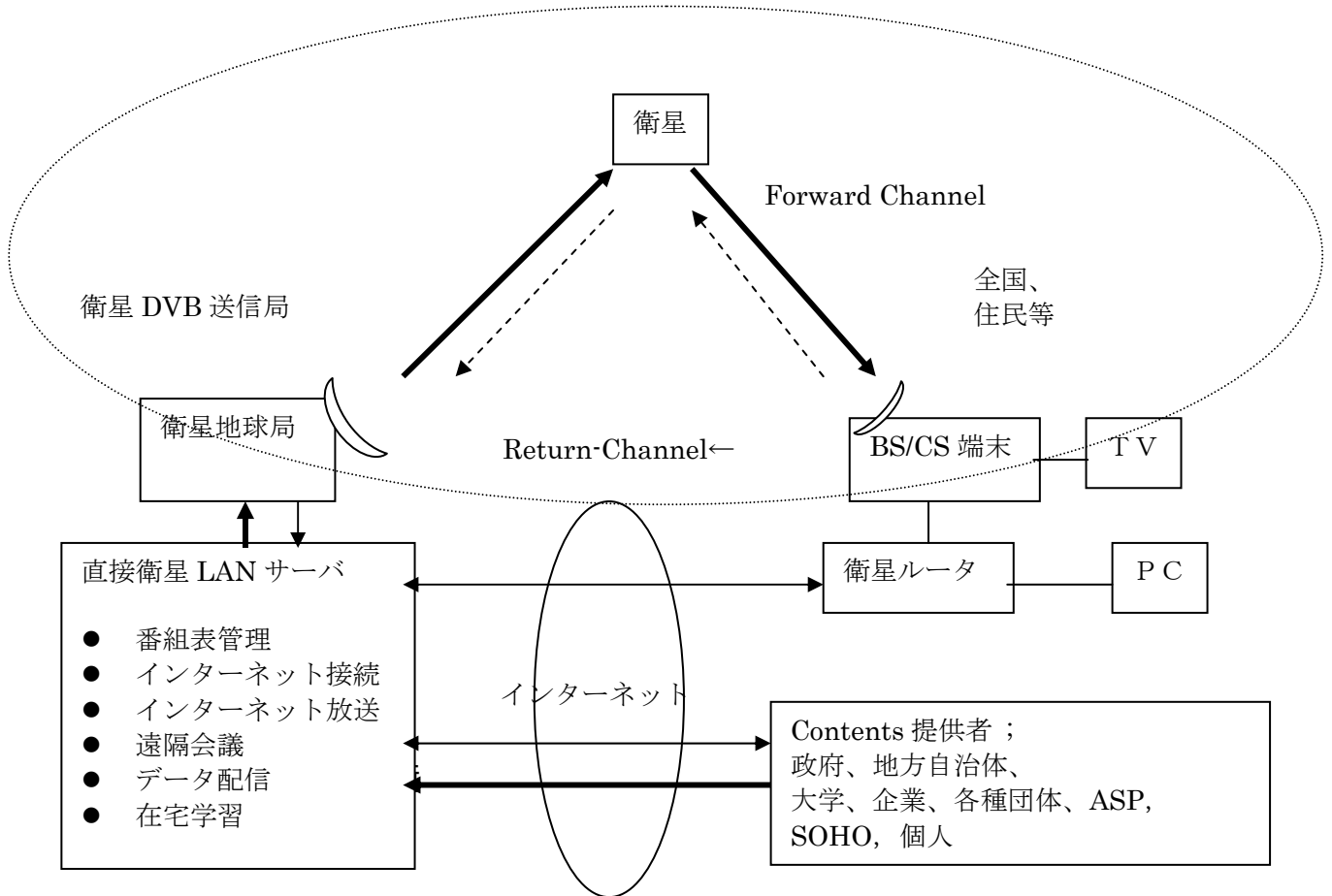


図1 直接衛星 LAN のシステム構成

3. 提案システムの事業展開

3.1. 完全直接衛星放送の事業化

デジタル化投資の有効活用

全国各地からの直接放送が特長ですから先ず事業者としては各地の地方放送局が適していると思います。地方放送局は3年後に迫った期限を守るために平均50億円ものデジタル化投資を行って来ていますが、単に伝送方式がアナログ方式からデジタル方式に変わるだけでは新たな利益を生む事業の開拓は困難であると思われます。幸い地上放送と衛星放送は画像、音声の符号化方式は共通であり、違いは電波による信号伝送部だけですので、相対的には極くわずかの追加投資によって完全直接衛星放送設備を備える事により電波の届く範囲を従来の県域から一挙に全国に拡大する事ができます。これによって新たな事業機会が生まれて来ると思います。例えば地域の地場産業が全国にコマースを流すのに従来は中央のキー局を使っていましたが、完全直接衛星放送では近くの地方放送局の放送網を通じて全国にコマースを流す事ができるでしょう。

衛星中継器の共同利用

地方放送局は現在自作の番組は放送時間の10-20%であり大半はキー局から提供された番組を放送しています。他方衛星中継器当たり10チャンネルのTV放送が可能です。そこで地方放送局が共同で衛星中継器を調達してそれを共同利用する方法が考えられます。事業組織としては事業共同組合が良いでしょう。現状の時間率ならば50-100社で過不足なく共同利用する事が出来ます。

3.2 直接衛星 LAN の事業化

インターネット生放送

Video-on-demand(VOD)によりインターネットを通じた映画等の配信が行われています。これはデータセンターにおける情報蓄積とホームページによる情報公開および配信というインターネットの機能にうまく適合した

事業です。更にはインターネットを通じた生放送も行われていますが、これは配信可能な利用者の数とデータ伝送の遅延の上で技術的な限界があります。その一つの解決法として直接衛星 LAN が使えます。直接衛星 LAN はインターネット放送網からみれば多数の LAN のうちの一つに過ぎませんが、その下に居る極めて多数の利用者に遅延のバラツキ無しに一斉配信が可能です。

完全直接衛星放送事業者とインターネット事業者の協業

上のインターネット生放送は前述の完全直接衛星放送事業者とインターネット放送事業者の共同事業となります。インターネットと衛星放送の共同事業はインターネット生放送に止まらず、遠隔会議、遠隔講義、講演会、公聴会など実時間性と多地点同報性及び双方向性を要求される多くの通信分野で有効になります。

4. インターネットと衛星通信の開く社会の将来像

ここでは視点を広げて上述の提案事業が如何にして今日の社会に役に立つのかを考えて見ましょう。

4.1. 現代社会の問題

現在の日本には国と地方自治体の財政破綻、人口の少子高齢化、東京一極集中と地方の過疎高齢化、貧困と格差問題、食料自給率の危険なまでの低下、石油その他の海外に依存する原材料の価格の高騰、米国の金融破綻による輸出環境の悪化など困難な問題が山積しています。海外に目を転ずればイラク、アフガニスタンその他多くの地域で悲惨な戦争や紛争が続いています。これらの問題の解決は現代の急務になっていますが、従来の方法では解決困難になっています。

4.2 提案システムによる現代の社会問題の解決

4.2.1 BSP と Public Access

まず提案システムが情報通信事業に与えるであろう影響を考察します。完全直接衛星放送においては地方放送局が直接全国に向けて放送する自主制作番組のスポンサーとして地場産業が全国にコマーシャルを流す事ができます。完全直接衛星放送は従来の放送に比べて遥かに安価(試算によると TV 放送が一時間数万円で可能)である上に従来のように広告事業者、キー局、地方局という仲介業者を経ずに利用者が直接最寄の地方局から全国発信できるため、放送番組のスポンサーとしてばかりでなく、地場産業が自社製品について詳細に説明した自作の映像作品をそのまま放送することもできます。それは現在の CS 放送でも多く行われていますが従来のコマーシャルに対してインフォマーシャルと呼ばれています。インフォマーシャルにおいてはその製品の製造者が責任を持って作った作品を放送事業者が提供する放送設備を用いて直接放送します。ここにおいて放送事業者は従来の放送作品製作者ではなく放送設備の提供者として機能しています。これは丁度インターネットにおける Internet Service Provider, ISP と同様の役割を放送分野で果たしていますので Broadcast Service Provider, BSP と呼ぶ事にします。

BSP の提供する放送網を用いて自主制作の作品を放送するのは地場産業に止まらず地方自治体、地域団体、個人にも広がるでしょう。すなわち BSP は一般大衆(General Public)に放送手段を提供します。こうして完全直接衛星放送によって従来の放送事業者(Broadcaster)は BSP に進化し BSP は一般大衆(General Public)に Public Access を提供する事業をおこなうと期待されます。BSP の詳細については文献[3]をご覧ください。

4.2.2. Mass media から Mass Im-media へ

直接衛星 LAN は衛星放送事業者と ISP が共同作業を行う事によって BSP に進化し一般大衆に Public Access を提供します。特にインターネットを使用する事により利用者は一挙に個人に広がります。例えば直接衛星 LAN を用いた遠隔会議においては会議の参加者は自宅から参加する事が可能になります。これは末端の利用者が直接自宅からでも全国向け放送網を用いる事ができる新たな通信網です。従来の放送は[情報源]-[放送業者]-[一般大衆]という間接的な構造であるため放送事業者を Mass media と呼びますが、直接衛星 LAN を用いた放送は[情報源]-[一般大衆]と直接的な情報の配信であり BSP の役割は Mass Im-media と呼ぶ事ができるでしょう。実はインターネットは正しく Mass Im-media ですが、BSP はそれを放送分野に拡張したものです。

4.2.3 Mass Im-media による社会の将来像

本提案のシステムがもたらす Mass Im-media の普及した社会においては「人が全国何処でも情報交換を行い、働く事ができる」二十一世紀型の産業社会が実現されると期待されます。

均衡の取れた人口と産業の分布

完全直接衛星放送によって地場産業が全国に営業展開し、地方自治体が全国に地域の観光や移住政策を宣伝し、芸術家が地域で開催される芸術祭を実況放送するなどの活動によって地方の活性化に有効な寄与をすることができるでしょう。またインターネットと直接衛星 LAN の活用によって人が在宅生涯学習を続け、また共同事業を行う SOHO 連携事業の発展によって「人が全国何処でも学び、生涯現役で働ける」環境が整うことにより人口と産業の地方展開が進み、現在の東京一極集中と地方の過疎高齢化問題が解消されると期待されます。

食の安全と資源安全保障

上述の展開により人口が地方に分散すれば食料、木材、燃料の地産地消が進み、原材料の自給率が向上し、過度の海外依存から脱却できると期待されます。また生涯現役社会の実現により、年金、医療、介護などの社会保障が持続可能になり、住民自治の進展に伴い政府の負担が減って財政破綻問題も解消に向かうものと期待されます。

世界平和の実現

今日でも Afghanistan から Zimbabwe に至るまで世界の各地で紛争や戦争が続いています。アフガニスタンにおいては米国を始めとする有志連合軍が最先端の軍備でカルザイ政権を援助しているにも関わらずタリバンが圧倒的に優勢であり、首都のカブールにおいてさえ治安是最悪の状況になっています。ドイツや英国は兵士の損害が大きくなるにつれて国内で撤退意見が強まっており、米国は日本にもアフガニスタンの陸上活動を強く求めて来ているとの報道もありました。米国はイラクから引き上げた兵力をアフガニスタンに投入しようとしているようですが他ならぬ米国の空からの爆撃で一般住民が死傷し米国に対する敵の拡大再生産が際限なく続いています。もはや軍事的にアフガニスタンの問題を解決する事は不可能であると思われる。我が国が為しうる最大の支援は直接衛星 LAN をアフガニスタンに援助しアフガニスタンの各地から生の声を全国に届かせる事だと思います。タリバンとカルザイ政権の主張が全国民に届けばその正否も自ずと明らかになるでしょうし、最初はののしりあいになるかも知れませんが、全国国民会議を辛抱強く続ければやがて和解の芽が出て来ると思います。もともとアフガニスタンにはロヤ ジェルガという国民大会議の伝統がありますので完全直接衛星放送や直接衛星 LAN はその実施のための有効な手段を与える事ができます。報道機関の記者やカメラマンが行けない所からも現地の生の情報が直接全国に届けば時とともに必ず相互理解が進み紛争は解消して行くものと思います。直接衛星 LAN を早期に実現し、世界中に普及させる事は民主的で平和な世界の実現に必要不可欠であると信じています。

5. むすび

衛星通信は現在市場の伸びが停滞していますが、ここで提案する完全直接衛星放送や直接衛星 LAN 等の新たな通信網とインターネットとの結合によって状態不可能であった新たな情報交換網を実現する事ができます。それは衛星通信の広域性によって地理的な限界を打破するばかりでなく従来のマスメディアによる間接的な報道や情報交換に加えて一般人が直接全国的な放送や会議を行う事ができる新たな Mass Im-media とも呼ぶべき情報通信網を実現できます。それによって今日我が国や世界が直面している多くの問題の解消に寄与する事ができると信じています。

参考文献

- [1] 市吉 修 “自動周波数制御方式” 特許広報 昭 58-18018
- [2] 市吉 修 “完全同期直接衛星放送網の提案” 信学技報 SAT2006-54(2006-12) pp25-30
- [3] Osamu Ichiyoshi “BSP and ISP; the Internet and Synchronous TDMA DSB Network” 信学技報 IEICE Technical Report, SAT2007-23 (2007-11) pp23-28