

## 昭和の宇宙に咲くCS「さくら」の開発から学んだこと

—CS開発計画の誕生:日本標準時の静止衛星軌道と30/20GHz帯の開発—

情報通信研究機構  
磯 彰夫

**SJRインタビュー:** 前号(4月5月号「衛星余話」)では非常災害監視や災害発生時の救援活動のために、1年365日・1日24時間常時危機管理対応通信・放送・観測サービス等に関する衛星通信が必要不可欠と伺いましたが、国際的な規約ではどのように決められていますか。

**磯氏:** 国際電気通信連合憲章(抄)約(<http://asaseno.cool.ne.jp/houki/kenshou.htm>)の抜粋を示します。ご参照ください。

### 第六章 電気通信に関する一般規定

40条 (人命の安全に関する電気通信の優先順位)

191

国際電気通信業務は、海上、陸上、空中及び宇宙空間における人命の安全に関するすべての電気通信並びに世界保健機関の伝染病に関する特別に緊急な電気通信に対し、絶対的優先順位を与えなければならない。

第41条 (官用電気通信の優先順位)

192

前条及び第46条の規定に従うことを条件として、官用電気通信(附属書1014号)は、当事者が特に請求したときは、可能な範囲で、他の電気通信に対して優先順位を有する。

### 第七章 無線通信に関する特別規定

第44条 (無線周波スペクトル及び対地静止衛星軌道の使用)

195

1 連合員は、使用する周波数のスペクトル幅を、必要な業務の運用を十分に確保するために欠くことができない最小限度にとどめるよう努める。このため、連合員は、改良された最新の技術をできる限り速やかに適用するよう努める。

196

2 連合員は、無線通信のための周波数帯の使用に当たっては、周波数及び対地静止衛星軌道が有限な天然資源であることに留意するものとし、また、これらを各国又はその集団が公平に使用することができるように、開発途上国の特別な必要性及び特定の国の地理的事情を考慮して、無線通信規則に従って合理的、効果的かつ経済的に使用しなければならないことに留意する。

第48条（国防機関の設備）

202

1 連合員は、軍用設備について、完全な自由を有する。

203

2 もっとも、第202号の設備は、遭難の場合において行う救助に関する規定、有害な混信を防ぐためにとる措置に関する規定並びに使用する発射の型式及び周波数に関する業務規定の規定を、当該設備が行う業務の性質に従って、できる限り遵守しなければならない。

204

3 第202号の設備は、また、公衆通信業務その他業務規則によって規律される業務に参加するときは、原則として、これらの業務に適用される規定に従わなければならない。

以下略

SJR: 今年はCS誕生33周年目となります。これまで打上げられた主な世界の通信放送衛星の軌道と周波数諸元の推移や、衛星通信用軌道と周波数との開発成果を教えてくださいませんか。

磯氏: 主な通信衛星の軌道と周波数の推移例(1959～2008)を図1に示します(D.H.Martin, P. R. Anderson, L. Bartamian, Communication Satellites, The Aerospace Press, 2006 参照)。1965年に静止通信衛星インテルサット第I世代(上り/下り周波数:6/4GHz帯)が打ち上げられて、国際衛星通信事業が開始されました。

2000年代初頭には低軌道衛星を用いる、グローバル移動体通信事業が開始されました。例えば、イリジウム衛星携帯電話(基地局と衛星との上り/下り周波数:29/19GHz帯, 携帯電話と衛星との上り/下り周波数:1.6GHz帯, 衛星間周波数帯:23GHz帯)は地上から780kmの低い高度に66機の衛星が配置され全世界をカバーしています。携行性の高い衛星携帯電話の特長を生かし、茨城県・群馬県・福島県に隣接する、東部の八溝山地、北部から西部にかけての那須連山・高原山・日光連山・帝釈山地・足尾山地の山岳地帯における不感地域の通信手段を確保し、危機管理の手段として、大きな期待を集めています([http://www.kddi.com/business/case\\_study/tochigi/index.html](http://www.kddi.com/business/case_study/tochigi/index.html)参照)。

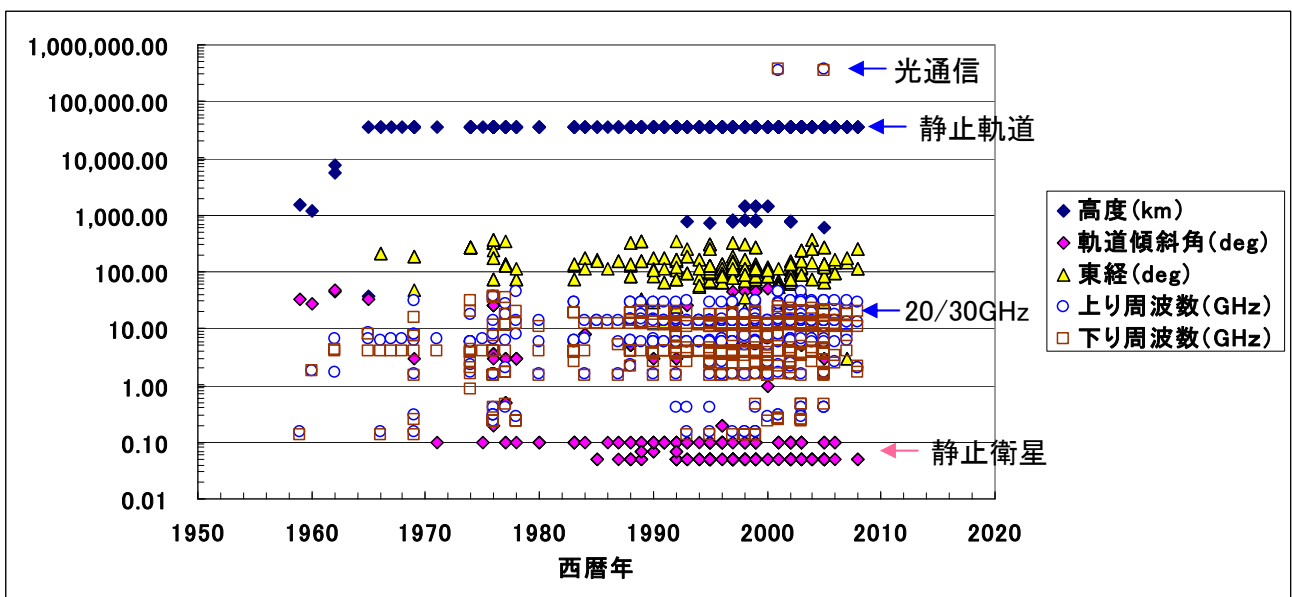


図1 主な通信衛星の軌道と周波数の推移例(1959年～2008年)

このように宇宙空間と周波数を最大限に利活用するための静止通信衛星や低軌道通信衛星の開発・実用化が進められています。

また、衛星通信周波数帯では静止通信衛星インテルサット第1世代で開発実用化された6/4GHz帯に加えて、0.14/0.13GHz帯、1.6/1.5GHz帯、2.6/2.5GHz帯、8/7GHz帯、14/12GHz帯、30/20GHz及び44/20GHz帯など新しい周波数帯が開発実用化され、種々の適用領域において多様な通信サービス形態が増大していることがわかります。

**SJR:** 図1に示された主な通信衛星の軌道と周波数の推移例を見ますと、東経140度付近の衛星軌道間隔が密に見えます。新興国BRICSの3カ国のサービスエリアが含まれるアジア・太平洋地域の静止通信衛星軌道配置はどのようになっていますか？

**磯氏:** 東経74度のInsat から183度インテルサットVIII の静止通信衛星例を図2に示します。静止通信衛星は63位置ありますので 軌道間隔は $(183-74)\div 63=1.7\sim$ 約2度です。今後衛星軌道資源の有効利用を加速するため、より一層の多周波数帯静止衛星や地球同期軌道における異周波数帯複数衛星の開発・運用が望まれます。

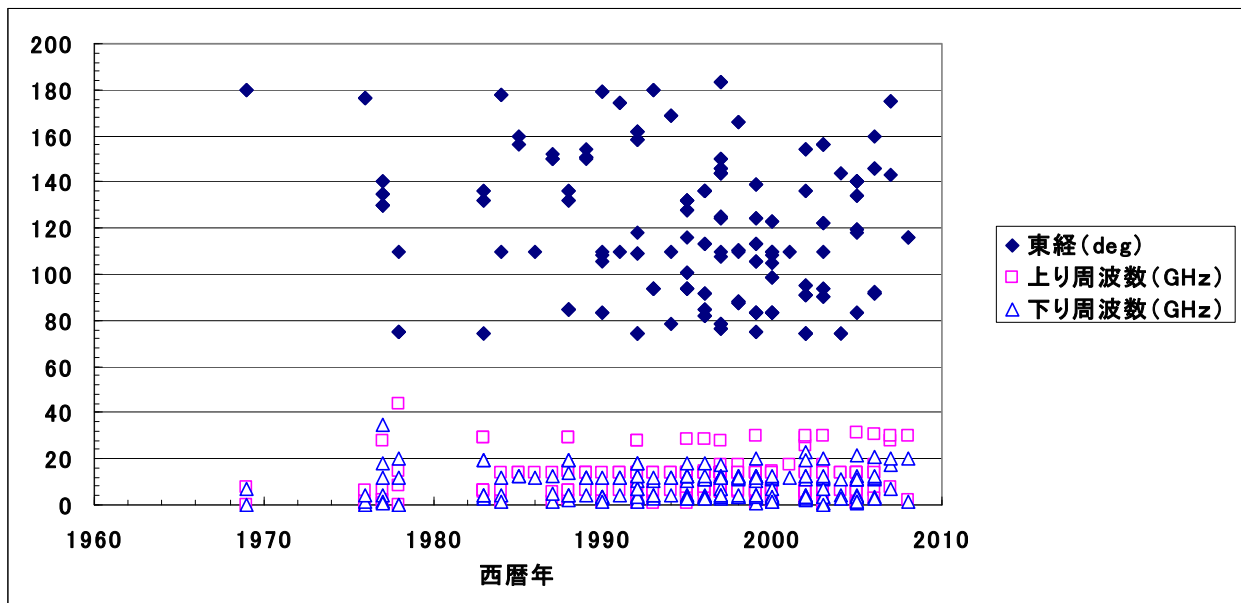


図2 主なアジア・太平洋地域静止通信衛星軌道と周波数の推移例(1959年～2008年)

**SJR:** 静止通信衛星CS打上げより前に、静止通信衛星インテルサットが太平洋上空とインド洋上空に打ち上げられ、それぞれ米国や欧州と日本との国際衛星通信サービスが開始されていました。静止通信衛星CSの本格開発に先立ち、静止通信衛星インテルサットや地上無線回線の共存するための周波数と衛星軌道についてどのようにお考えでしたか？

**磯氏:** 衛星電波周波数と衛星軌道資源に関しては、先発者の衛星通信設備の先行投資額と費用回収期間に対して、後発者は与干渉と被干渉対策に必要な経費と後発参入期間とコストとを負担することが原則と考えます。新周波数と軌道資源開発に関する先発者優位の原則遵守は新たな衛星通信事業開発投資と新産業創出のために必要不可欠な条件と考えています。

国内衛星通信の開発・実用化に際しては、先発の上り／下り6/4GHz帯国際衛星通信サービスを提供する、インド洋上空(東経62.5度)や太平洋上空(東経174度)のインテルサット衛星通信との与干渉と被干渉を許容値以内に小さくし、相互の共存条件を満たすことが必須でした。

- (1) 東経62.5度の静止通信衛星インテルサットは、最も西の与那国島における衛星に対する仰角が15度、方位角が265度(西南西)となりますが、北海道における衛星に対する仰角は0度未満となり衛星通信サービスは不可能です。
- (2) 東経174度の静止通信衛星インテルサットは、北海道における衛星に対する仰角が約25度、方位角が約145度(南東)、最も西の与那国島における衛星仰角が約25度、方位角は約110度(東南東)となります。
- (3) 東経135度の静止通信衛星CSは北海道における衛星仰角は18度、方位角は約190度(南南西)また与那国島における衛星仰角は38度、方位角が160度(南南東)となります。
- (4) 東経174度の静止通信衛星インテルサットと東経135度の静止衛星CSとの対比に関しては、与那国島衛星仰角差が25度 - 38度=13度、衛星方位角差が110度 - 160度=50度となり、固定無線回線が限定的に使用されている離島地域においてCS離島6/4GHz衛星回線とインテルサット6/4GHz衛星回線との相互共存の見通しが得られました。

北海道衛星仰角差が25度- 18度=7度、方位角差が145度-190度=45度となります。更に地上無線通信回線との共存を考えますと、北海道等の本土内地球局アンテナ広角指向特性に対してデルタ関数的な高い要求性能が課されます。

当時、アンテナ径が小さく利得の高い、広角指向特性に優れた、本土内6/4GHz帯車載型アンテナ出現を叫んだシステム設計者は、アンテナ技術者の失笑を買いました。

この種の検討結果も加えて、地上固定無線回線やインテルサット衛星回線として未開拓領域である30GHz/20GHz帯国内衛星通信に焦点を絞った研究開発が昭和40年頃から、電電公社電気通信研究所が主体となり開始されました。

更に東経135度の静止通信衛星は日本の経済水域200海里以内における海域や空域における衛星仰角18度以上の地球局設置条件を満たすことができます。特にインド洋からマラッカ海峡をへて日本に至る原油輸送ルートシーレンにおいては衛星仰角20度以上の船舶や航空地球局設置条件を満たすことができます。

SJR: 6/4GHz帯衛星通信を本土内に適用するためには、インテルサット衛星回線や地上無線回線等との共存技術開発が必要だと思いましたが、どのような研究開発課題がありますか？

**磯氏:** 1960年打上げのエコー衛星インフレターブル展開技術や1974年打上げのATS6衛星搭載メッシュ展開アンテナ技術などの特許切れ後発技術課題抽出を部品・材料技術や展開駆動・指向方向制御技術等に着眼して、車載局に搭載可能な広角指向特性に優れた6/4GHz帯展開アンテナ開発を早期に進める必要があると考えます。具体的には、産学官連携し、アンテナ鏡面展開構造と開口面アンテナ設計の統合技術や量産・原価低減・品質管理技術の開発が必要と考えます。さらに干渉回避と補償技術等に着眼し、コグニティブ無線技術(<http://grouper.ieee.org/groups/scc41/4/index.htm>参照)開発を加速し、世界標準地球局等の新たな衛星通信産業を育成し、世界の衛星通信市場における貢献度を高めることが望まれます。

SJR: 昭和48年頃、NASDA(宇宙開発事業団:現JAXA)に実用目的の静止気象観測衛星GMS(東経140度)、実用目的の実験用中型静止直接放送衛星BSE(東経110度)、実用目的の実験用中容量静止通信衛星CS(東経135度)プロジェクトが設立されました。静止衛星の場合、太陽入射角の関係から春分の日および秋分の日前後1月半程度の間には蝕が発生します。その時間は最大で1時間半程度となるので蝕前に太陽電池からバッテリーに切り替わり、電力が必要な衛星搭載機器が動作します。蝕終了後に太陽電池に切り戻されます。静止軌道位置と蝕運用の関係についてはどのように考えられているのでしょうか。

**磯氏:** 静止通信衛星CSの東経135度の時刻は日本の標準時に相当します。従って、静止通信衛星CSの蝕運用は公衆通信トラフィックが昼間のビジネス時間帯に比して少ない、深夜0時前後の時間帯に相当する利点があります。



直接放送衛星BSEは同一TV番組を日本全土に同時放送し、開口径30センチ程度のアンテナ受信機で直接受信します。このため衛星はシングルビームアンテナと出力100w級の進行波管増幅器を搭載し、大出力の太陽電池とバッテリーを必要とします。東経110度静止直接放送衛星BSEは、TV番組が夜中0時に終了しますので、1時間半後に触運用を迎えます。従って、夜中0時放送終了の静止直接放送衛星バッテリーは1日24時間放送の静止直接放送衛星に比してバッテリー容量を低く抑えることができます。

また、許容経度内において、複数衛星を一定時間間隔で「お手玉遊びのお手玉」運動や「8の字」を描く運動制御することができます。そして、各衛星は一定時間後に赤道面から離れ、太陽電池動作可能な南北の位置に来るので、衛星搭載バッテリー能力を軽減することが可能です。このような地球同期軌道における、現用予備の衛星直接放送システム構成は、信頼性の高い直接衛星放送を視聴者に提供できます。

直接放送衛星Astra が1993年から1999年にかけて、東経19.0～19.4度の範囲に6機打上げられました。19.2度±2度地球同期軌道での6機運用事例です。

東経140度のGMS触運用はCSより、早く開始されます。

SJR: 日本にはGMS, CS, BSシリーズまたDRTSプロジェクトで開発・実用化した静止軌道位置、技術試験衛星シリーズプロジェクトで開発した静止軌道位置及び電気通信自由化に伴い設立された民間衛星通信事業者用静止軌道位置を含めて多くの静止軌道位置が開発されています。静止通信・放送・気象観測衛星軌道と周波数例についてお話しいただけますか？

磯氏: 日本の静止通信・放送・気象観測衛星軌道と周波数例(1977年～2007年)を図3に示します。東経90.75度から東経162度までの静止衛星軌道が開発されています。

東経132度及び136度静止通信衛星は30/20GHz, 14/12GHz, 6/4GHz及び2.6/2.5GHz帯通信機器を搭載しており、同一衛星・軌道において固定通信と移動通信を統合し、他の静止軌道衛星に比して同一衛星・軌道の有効利用が最も進化している例と思われます。

また、東経136度静止衛星軌道では、2.6/2.5GHz帯移動体衛星通信システムの2衛星の同一軌道運用が行われており、東経110度における静止通信・放送軌道利用と並び、複数衛星の同一軌道有効利用が行われています。

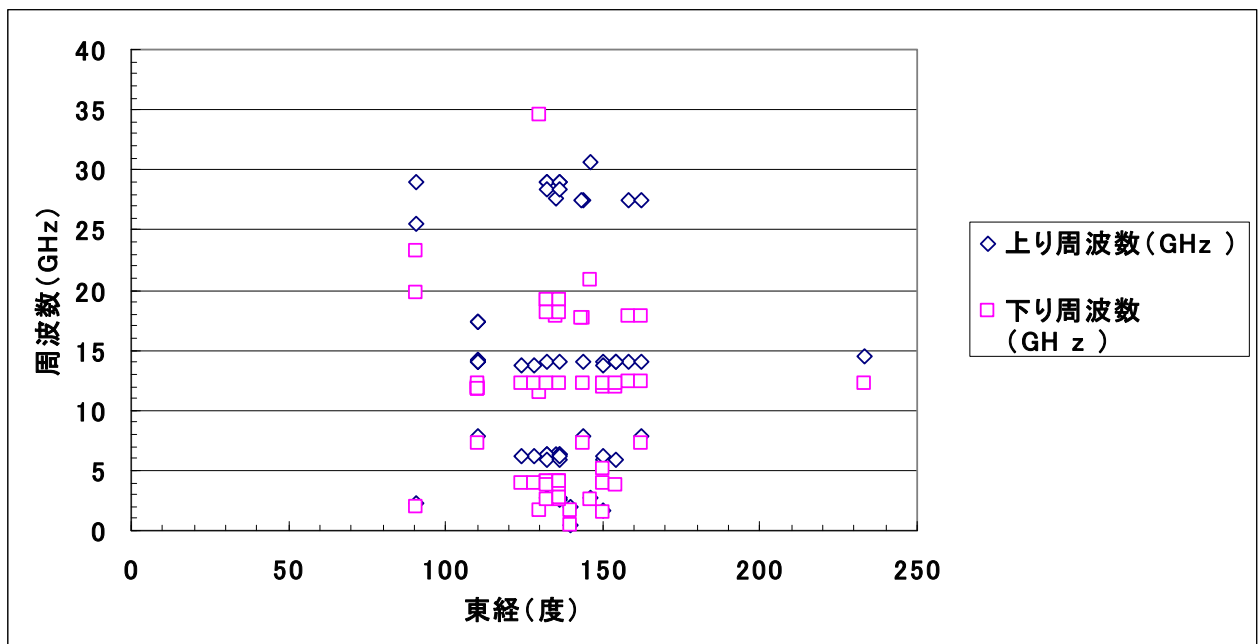


図3 日本の静止通信・放送・気象観測衛星軌道と周波数例(1977年～2007年)

SJR: 静止軌道上の衛星位置間隔は狭くなる傾向にあります。そのため、同一軌道・多周波数帯静止衛星通信の開発・実用化が必要です。静止衛星軌道の有効利用のための開発・実用静止通信衛星計画について

どのようにお考えですか。

**磯氏:** 1987年打上げられたLバンド技術試験衛星V型(ETS-V:きく5号)プロジェクトが開発した、東経150度の静止衛星位置はKuバンド静止通信衛星軌道として活用されています。

東経150度技術試験衛星V型は北太平洋及び南太平洋域をカバーしており、「パートナーズ計画」と呼ばれる、アジア・太平洋地域の諸国を対象に、Lバンド静止移動体衛星通信に関する共同実験を実施しました。この実験には、日本国内に加えてタイ、インドネシア、フィジー、パプア・ニューギニア及びカンボディアなどの大学、病院、研究機関等が参加し遠隔教育や遠隔医療などに関する多くの成果が得られました。

今後、東経73度及び東経176.5度のLバンドインマルサット静止衛星通信や高度780kmのイリジウム衛星携帯電話等と共存し、衛星移動通信における相互補完・補強のために、コグニティブ無線技術(<http://grouper.ieee.org/groups/scc41/4/index.htm>参照)を開発し、東経150度のKuバンド静止通信衛星軌道と地球同期軌道で運用する、新たなパートナーズLバンド衛星移動通信開発・実用計画の推進を期待します。

**SJR:** グローバル化の進展に伴い、日本の政府機関や民間企業は海外に活動拠点を持つことが多くなりました。海外活動拠点と日本本社との距離や時差を克服して、警察通報用電話110番、消防機関への緊急通報用電話119番、海上における事件・事故緊急通報用電話118番サービス等に相当するグローバルな危機管理情報の伝達機能が求められています。インテルサット衛星固定通信やインマルサット衛星移動通信等と補完・補強して市場を形成するような、リアルタイム・グローバル衛星通信システムに関してはどのようにお考えですか？

**磯氏:** リアルタイム・グローバル危機管理対応衛星通信ユースモデルは国の防災に関する指定行政機関や日本銀行、日本赤十字社、日本放送協会その他の公共的機関及び電気、ガス、輸送、通信その他の公益的事業を営む法人等の指定公共機関(<http://www.bousai.go.jp/1info/soshiki/index.html>参照)活動や海外邦人救出保護活動([http://www.pubanzen.mofa.go.jp/c\\_info/info/anzen\\_seminar/kouen/kouen\\_1.html](http://www.pubanzen.mofa.go.jp/c_info/info/anzen_seminar/kouen/kouen_1.html)参照)を想定します。

例えば、最も西の東経90.75度及び最も東の東経233度(西経127度)の2つの地球同期軌道において2.6/2.5GHz帯及び8/7GHzの移動体通信衛星の地球同期軌道における複数衛星運用を考えます。

まず、(1)東経90.75度静止軌道に対する衛星仰角は、海賊対策が国際的な課題となっているソマリア沖・アデン湾が40度、国連平和維持活動UNDOFゴラン高原が30度、東京が25度となり、インド洋や中東地域等における移動体と日本との間でそれぞれ回線設定システム実証実験を行うことができます。

次に、(2)東経233度(西経127度)静止衛星に対する衛星仰角は、国連平和維持活動MINUSTAHハイチ25度、サンチャゴが20度、サンディエゴが50度、東京は0度未満となります。しかし、東経233度(西経127度)静止衛星は60GHz帯や370THz帯の衛星間回線と東経162度静止衛星とを經由し、衛星回線接続することにより、実効的な衛星仰角は東京と大阪が45度及び九州が40度となります。そして、北米や南米地域と日本主要都市との間でシングルホップ・グローバル衛星移動通信システム回線設定実証実験構成が可能になります。

海外在留邦人、国の代表的な指定行政機関や指定公共機関が、危機管理の基本パターン「自助、自分で自分を助ける。互助、お互いに助け合う。公助、公に助ける」([http://www.pubanzen.mofa.go.jp/c\\_info/info/anzen\\_seminar/kouen/kouen\\_1.html](http://www.pubanzen.mofa.go.jp/c_info/info/anzen_seminar/kouen/kouen_1.html)参照)対応システム実験に参加することにより、インマルサット衛星移動通信やXTAR-Eur衛星移動通信に対する補完・補強が可能な(1)2.6/2.5GHz帯及び8/7GHz帯移動体通信衛星の地球同期軌道における複数衛星運用及び(2)シングルホップ・グローバル衛星移動通信システムの開発・実用化の進展が期待できると思います。

**SJR:** CS等における30/20GHz衛星通信開発に関して「日本が30/20GHz衛星通信を世界に先駆けて開発」の主張は換言すれば「日本は世界から孤立した衛星通信システムを開発」との世評を聞いたことがあります。1977年以降の世界の30/20GHz衛星通信動向を教えてくださいませんか。

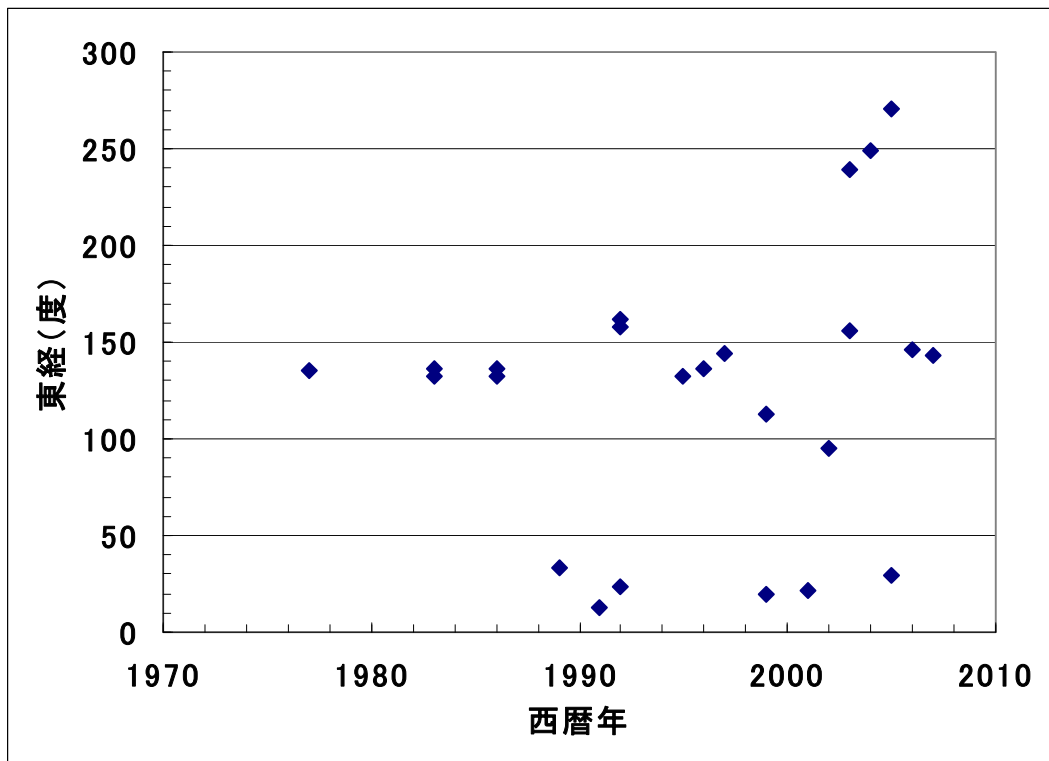


図4 30/20GHz静止通信衛星軌道の推移(1977年～2007年)

**磯氏:** 30/20 GHz帯静止通信衛星軌道の推移(1977年～2007年)を図4に示します。

1977年にCSが東経135度の静止軌道上に打上られて以来、2007年までの30年間に東経13.5度から東経271度(西経89度)までの静止軌道上に打上げられており、アジア・オセアニア大陸、北米大陸及び欧州大陸を中心に30/20 GHz衛星通信サービスが展開されています。今後はBRICSの主要国が含まれるアフリカ大陸や南米大陸等において、30/20 GHz帯の広帯域特性を生かした超高速ファイル転送サービスの普及促進が期待されます。

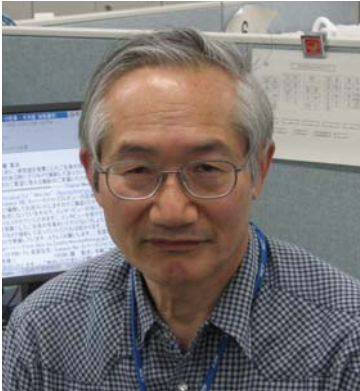
具体的には薄型壁掛け高品位TVやノートPC等デジタル家電端末の60GHz超高速WPAN(<http://www.ieee802.org/15/pub/TG3c.html>)やWLAN([http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgad\\_update.htm](http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgad_update.htm))世界標準規格と適合する、可搬地球局・衛星通信方式標準規格策定活動を加速し、ネットワーク・セントリック衛星通信開発が課題と思われま。

**SJR:** 東経140度地球同期軌道における複数衛星運用開発・実用計画に関してはいかがですか。

**磯氏:** 地球大気観測計画(GARP)の一環として、西経131度(東経:360度 - 131度=229度)のSMS 後継機GOES(Geostationary Operational Environment Satellite)が北米及び南米地域、東経0度のMETEOSATが欧州とアフリカ地域、東経140度のGMSがアジア・オセアニア地域の気象観測をそれぞれ分担し開始しました。東経140度の静止衛星仰角に関しては、海面上昇の悪影響を受けている、モルディブが10度、ツバルが50度、油膜や廃油による海洋汚染影響地域に位置するスリランカが20度、シンガポールが45度、森林破壊の影響を受けているマレーシアが45度、バングラディッシュが30度、進む砂漠化の影響を受けているウランバートルが20度です。今後、東経140度における、①静止気象観測衛星「ひまわり」②14/12GHz帯、6/4GHz帯の静止通信衛星EXPRESS AM3③地球同期環境監視衛星の地球同期軌道における複数衛星の運用開発・実用化を加速し、地球同期地球監視衛星の早期整備が期待されます。地球環境監視衛星には1年365日間、1日24時間常時、海域・陸域・宇宙環境センサーデータ収集機能と超高速配信機能をもつ30/20GHz帯通信機器搭載が不可欠と考えられます。■

次回はCS開発計画の具体化について、30/20GHz帯衛星搭載通信機器の開発と衛星本体とのインターフェース規格の策定に関して伺います。

### 磯 彰夫



昭42東北大学大学院理学研究科修士課程了. 同年電電公社電気通信研究所入社, 昭48電電公社横須賀電気通信研究所. 昭49宇宙開発事業団(NASDA) 実用衛星設計グループ(出向). 昭53電電公社横須賀電気通信研究所. 昭和62宇宙通信基礎技術研究所(SCR) 出向. 平成3NTT無線システム研究所. 平4三菱電機鎌倉製作所入社. 平14エム・シー・シー入社. 現在, 独立行政法人情報通信研究機構新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマバイルグループ招へい専門研究員. 工学博士. AIAA, IEEE, AFCEA, 電子情報通信学会, 各会員