

安心・安全を支える衛星通信の大容量化技術

谷 重紀*
元吉克幸**

Broadband Satellite Communication Technologies for Safe and Secure Society

Shigenori Tani, Katsuyuki Motoyoshi

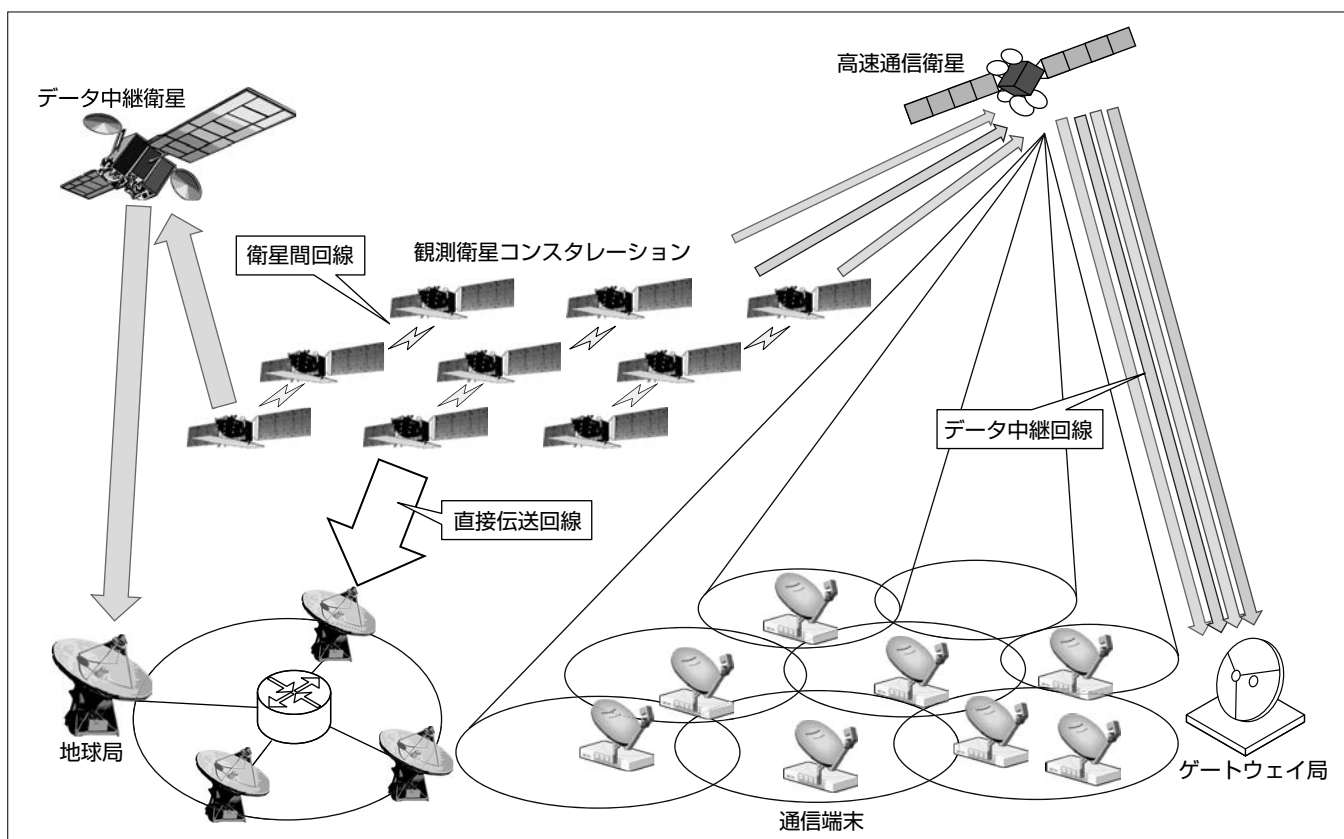
要 旨

地球規模の気象変化を高精細かつ高頻度に観測することは、自然災害が生活に与えるリスクを低減するうえで重要である。また、近年は宇宙分野の技術革新と地上との情報通信技術の融合によって、複数の情報を地理空間上にマッピングして新たな情報を得る新規ビジネスの創出が期待されている。

近年、準リアルタイム観測の実現に向けて、高精度な光学センサや合成開口レーダを備えた複数の衛星で所望の地域を高頻度に観測する観測衛星コンスタレーションが期待されている。このようなシステムは観測データを迅速に地球局へ伝送する高速データリンクが要求される。さらに、

自然災害等を想定した場合は被災地周辺に集中して通信・観測需要が高まることが想定されるため、地理的な通信需要の局所集中に対応したデータリンクの確立が重要となる。

これらの課題を解決するために観測衛星向け技術では、衛星—地球局及び衛星—衛星間のデータ伝送方法をお互いの位置関係やデータ滞留量に応じて適応的に制御することで、衛星のネットワーク全体での伝送容量の最適化を図る。通信衛星向け技術では、衛星上で周波数と経路を変更可能なチャネライザを活用することで、通信需要に応じた帯域割当てを可能にする。さらに将来像として観測と通信の融合が考えられる。



観測・通信衛星の将来像

観測・通信衛星システムの将来像を示す。観測衛星の高精細化と即時性向上のためには、直接伝送回線、衛星間回線、データ中継回線の高速化に加え、マルチビーム化された高速通信衛星システムを観測衛星システムに適用することで観測衛星機数の増大に対応した準リアルタイムな観測・通信融合システムの構築が期待される。

1. ま え が き

宇宙空間を利用した観測・通信システムは、災害時での迅速な状況把握と対処へ寄与することに加え、情報通信技術との融合による新規ビジネスの創出が期待されている。

本稿ではこのシステムの将来像を概観するとともに、このシステムで必要となる衛星通信の大容量化技術を示す。

2. 観測衛星の動向と将来技術

2.1 動 向

近年、観測衛星に光学センサや合成開口レーダによる高精度なセンサを備え、また大量の観測データを蓄積する大容量記憶域を搭載する傾向にある⁽¹⁾。さらに、低軌道を周回する複数の観測衛星から構成される観測衛星コンステレーションが準リアルタイム観測の実現に向けて期待されている。このようなシステムは観測データを迅速に地球局へ伝送する高速データリンクが要求される。

観測衛星のデータリンクは静止軌道に配置されるデータ中継衛星を経由する手段と、低軌道上の観測衛星から地球局へ直接伝送する手段がある。少なくとも3機以上のデータ中継衛星があれば観測衛星は地球上のいかなる場所でも地球局との通信を確立できる。一方、直接伝送回線は静止軌道と比較して距離減衰が小さいことから高速伝送が可能である。

直接伝送では従来X帯(8GHz帯)が広く用いられ、800Mbpsの伝送が実現されているが、伝送速度の更なる向上に対しては帯域幅が制約となる。そのためX帯と比較して4倍の帯域幅(1.5GHz)を持つKa帯(26GHz帯)の利用が検討されている。さらに帯域幅3GHzを利用可能なQ帯(39GHz帯)を用いることで伝送速度の向上が期待できる。

2.2 将来技術

Ka帯やQ帯などの高い周波数帯を用いることでアンテナ利得と利用可能帯域幅が増加するため、観測衛星から地球局へのデータ伝送速度の向上が可能になる。一方で降雨減衰などの大気による減衰も増加し、特に低仰角時は大気通過距離が長い影響が大きい。この問題に対しては伝播(でんぱ)路状態すなわち受信SNR(Signal to Noise power Ratio)に応じて所望の誤り率を満たす変調方式と符号化率を選択する適応変調技術に加え、使用する搬送波数を増減させるマルチキャリア・マルチモード伝送方式が有効である⁽²⁾。図1に示すように、この方式は複数の変調方式及び伝送モード(周波数多重モード、電力合成モード)を切替え可能である。電力合成モード時は、モード切替え型変調器が各変調出力の位相を制御して信号合成を行うので送信電力が大きくなる。それによって降雨減衰を補償する。

また複数の地球局を利用するサイトダイバーシチ技術は降雨時での高稼働率化の観点で有効である。しかしX帯からKa帯やQ帯へ移行する場合は高周波化に伴い衛星送信

ビームが狭域になるため、受信SNRが観測衛星と地球局との位置関係に応じて変動するという課題がある。またQ帯は観測衛星が二次利用者として割り当てられているため、地上無線システムなどの一次利用者への干渉を規定値未満にしなければならないという課題がある。

これらの課題に対しては、観測衛星システムの受信SNR改善と地上無線システムへの与干渉を規定値未満に抑えるように適応的に観測衛星の送信ビームを制御する手法が有効である⁽³⁾。この方式の動作を図2を用いて述べる。はじめに、(a)に示すように観測衛星はサイトダイバーシチと単局受信を動的に切り替えるように送信アンテナの指向方向を変更する。次に(b)に示すように送信アンテナのパターンを楕円(だえん)アンテナのように非対称にして受信SNRが最大化するようにアンテナの回転角を変更する。最後に(c)に示すように、地上無線システムと地球局が隣接する場合は与干渉を低減するように地球局を選択する。なお、地球局と地上無線システムが近接している場合は、稼働率又はSNR低下量のどちらかを優先的に改善するように重み係数を用いてビーム照射位置を制御する。これによって、図3に示すように地上無線システムの稼働率向上

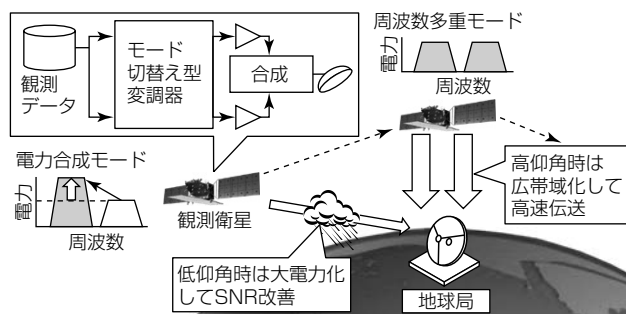


図1. マルチキャリア・マルチモード伝送

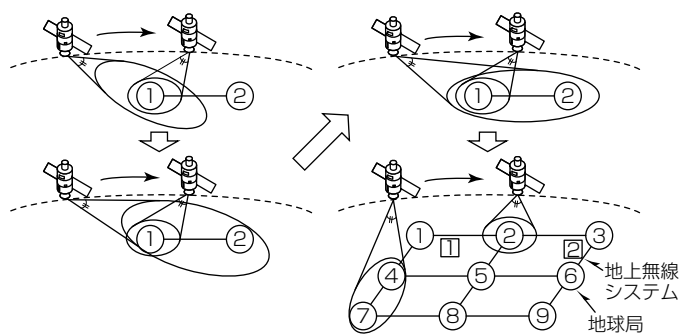


図2. ビーム制御方式の動作

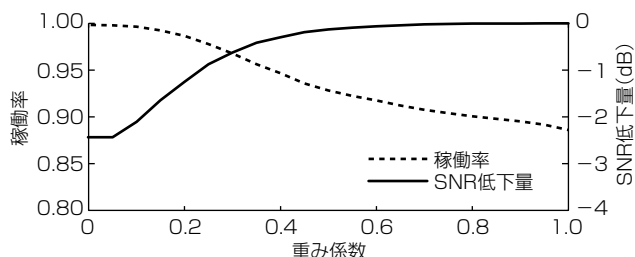


図3. 地上無線システムの稼働率と観測衛星システムのSNR低下量

と観測衛星システムのSNR低下抑制を両立させている。

また、地球局との通信可能時間は衛星と地球局との可視範囲に限定されるため、観測データを通信可能時間内に伝送できず送信待ち時間が発生する可能性がある。衛星ネットワークに関する研究の多くは通信衛星を対象としているが、通信衛星が地球全域をほぼカバーするのに対して観測衛星のように可視時間が限定された条件は考慮されていない。また、観測衛星は一度に数百Gbitの観測データを生成することから、先行研究で広く用いられる蓄積交換型のようにキュー内滞留遅延が増大する方式を用いずに中継することが望ましい。

したがって観測衛星コンスタレーションで送信機会当たりのデータ伝送確率を向上させる図4に示すようなマルチキャリア・マルチホップ伝送方式が有効である⁽⁴⁾。この方式の衛星ではチャネライザと複数の送信機を持つ。送信機は回線品質に応じて符号化変調し、チャネライザは送信機から入力される信号をサブチャンネルに分波し、スイッチで自身の信号とほかの衛星からの信号を衛星間リンク又は直接伝送回線へ送信するように合波する。図5にこの方式で

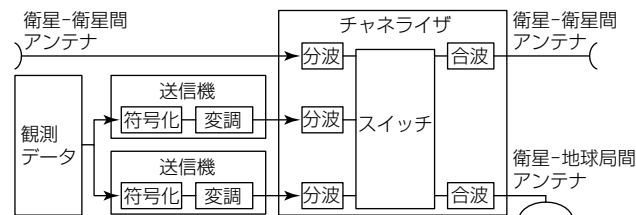


図4. マルチキャリア・マルチホップ伝送時の衛星構成

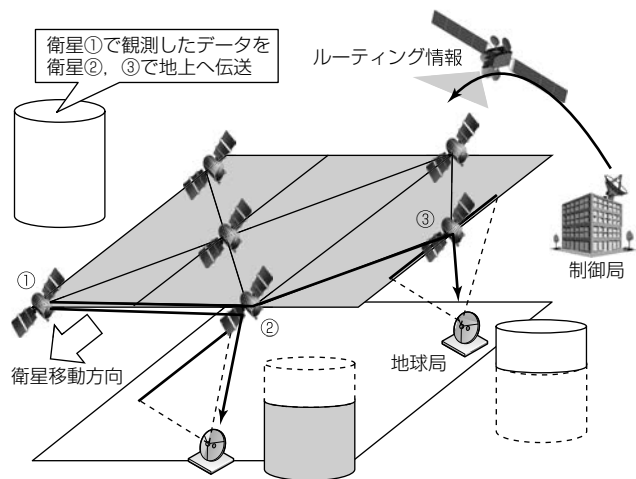


図5. マルチキャリア・マルチホップ伝送方式での送信例

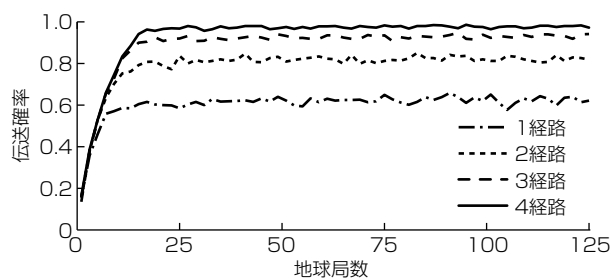


図6. 伝送確率対地球局数の特性

の送信例を示す。制御局は地球局と通信可能な衛星それぞれについて送信可能容量を算出する。その後、観測衛星が保持する全てのデータを送信するための複数の地球局を選択するとともに、それらの地球局へ伝送するための衛星間通信の経路を決定する(ルーティング情報)。その結果、図6に示すように1経路で地球局へデータを伝送する場合と比較して、最大4経路を用いることで単一の送信機会ですべての観測データを伝送する確率を向上させることができる。

3. 通信衛星の動向と将来技術

3.1 動向

通信衛星は衛星1機当たりのビットコストを低減するため、複数の狭域ビームで周波数を再利用することによって中継容量を増大させるHTS(High Throughput Satellite)が実用化されている⁽⁵⁾。

図7にHTSのシステム構成例を示す。各端末は衛星が照射する複数のビームに在圏し、衛星を介してゲートウェイと通信する。現在実用化されているHTSは数十ビームでカバレレッジエリアを覆い、システム全体で100Gbps級の通信容量を実現している。周波数プランはユーザーリンクを2周波数と2偏波の4色繰返しで構成する。しかし、多数のビームでカバレレッジエリアを覆う場合はフィーダリンクの周波数が枯渇するため、ゲートウェイを地理的に離れた場所に複数配置してフィーダリンクの周波数を再利用することでユーザーリンクのビーム数を増大させる。

3.2 将来技術

現在、多くのHTSは各ビームの周波数とビーム間接続が固定なベントパイプ型の中継器であるのに対し、衛星打ち上げ後の柔軟な周波数割当てを実現する手段としてデジタルチャネライザが有効である。衛星搭載デバイスの高速度に伴いKa帯など広帯域なシステムへの適用が期待されており、三菱電機はビーム当たり最大640MHzを処理する分波/合波回路を含むデジタルチャネライザを開発している⁽⁶⁾。

図8にデジタルチャネライザの構成を示す。デジタル

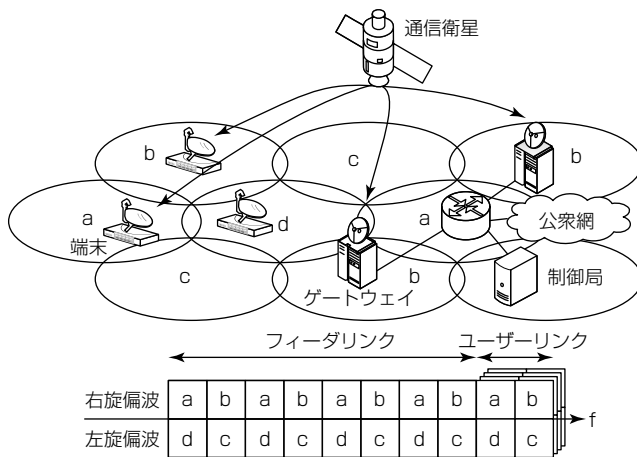


図7. HTSのシステム構成例

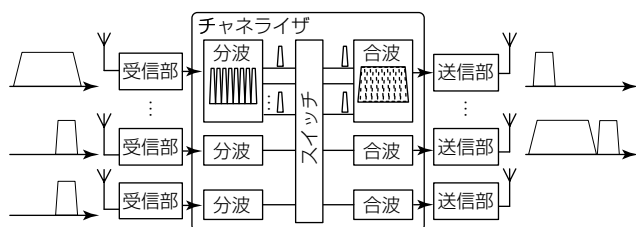


図8. デジタルチャネライザの構成

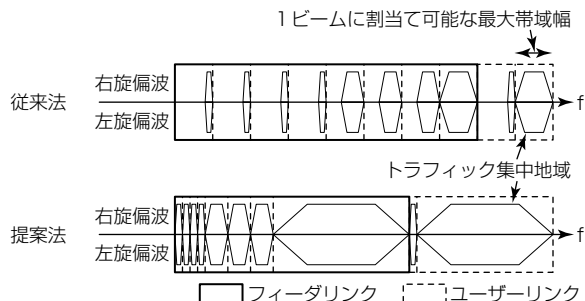


図9. チャネライザ適用時の周波数割当て例

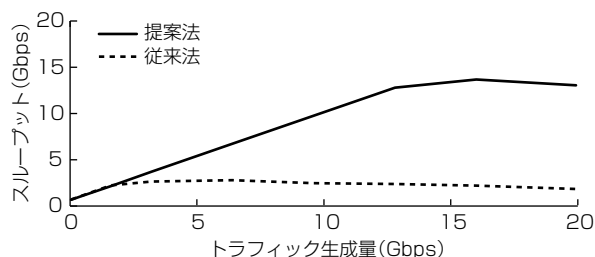


図10. トラフィック集中時での伝送容量の比較

チャネライザは衛星上で受信した信号を複数の周波数帯域に分波した後に各分波信号を送信先ビームへスイッチし、再度合波して中継するものであり、特定のビームで通信需要が増加した場合は隣接する周辺ビームに割り当てていた周波数を再割当てすることで、通信需要が増加したビームへ周波数を集中的に割り当てることが可能となる。

ここで、デジタルチャネライザを用いて特定のビームへ周波数を集中させる場合にはユーザーリンクに割り当てられている帯域幅の範囲内で行うことになるが、Ka帯はユーザーリンクとフィーダリンクに割り当てられる周波数帯が連続していることから、図9に示すようにユーザーリンクとフィーダリンクの帯域比率を変更することでユーザーリンク帯域幅を大幅に拡大することが可能である⁽⁷⁾。この方式によって、特定のビームへトラフィックが集中した際に周波数を集中割当てすべきビームとの干渉が少ないゲートウェイを選択することで、フィーダリンクとユーザーリンクを同一周波数で繰り返して割り当てることが可能になり、図10に示すように伝送容量を増大させることができる。

4. 観測・通信の融合

自然災害が生活に与えるリスクを低減するためには迅速な状況把握と対処が重要になる。状況把握の観点でリアルタイム観測システムの構築は有用であり、前章までに示した低遅延伝送を実現する衛星間伝送に加えてHTSを用い

たハイブリッドネットワークが有効である。観測衛星システムと衛星通信システムは、いずれも高速化・即時性・多ユーザー収容といった共通的なニーズが存在し、これらを実現する手段としてKa帯利用による広帯域伝送、マルチビーム化による周波数利用効率の向上、デジタルプロセッサによるフレキシビリティの向上といったソリューションが考えられる。よって、両システムはネットワーク構成からコンポーネント単体まで類似性を持つことから、今後は統合ネットワークによる観測・通信の融合システムが構築される可能性を秘めている。ただし、これらサービスは単一システムでは実現できず、各々のユーザーに応じたスケラブルかつフレキシブルなシステム構築が重要になる。

5. むすび

安心・安全を支える観測・通信衛星の動向を示すとともに、将来技術として衛星から地球局へのデータ伝送方法及び衛星間データ伝送方法を互いの位置関係やデータ滞留量に応じて適応的に制御し、伝送容量を向上させる手法を述べた。また、観測衛星と通信衛星の技術的類似性を明らかにし、両者の融合サービスに対する期待を示した。

参考文献

- (1) 宮崎守泰：安全・安心・防災に貢献する先進技術，三菱電機技報，**91**，No.2，96～100（2017）
- (2) Tani, S., et al.: Multi-carrier and Multi-mode Transmitter for Earth Observation Satellite, AIAA International Communications Satellite Systems Conference, DOI: 10.2514/6.2017-5439 (2017)
- (3) Tani, S., et al.: An Adaptive Beam Control Technique for Q Band Satellite to Maximize Diversity Gain and Mitigate Interference to Terrestrial Networks, IEEE Trans. on Emerging Topics in Computing, DOI: 10.1109/TETC.2016.2606107 (2016)
- (4) Tani, S., et al.: Multi-carrier Relaying for Successive Data Transfer in Earth Observation Satellite Constellations, IEEE Global Communications Conference, DOI: 10.1109/GLOCOM.2017.8255099 (2017)
- (5) 関根功治，ほか：通信衛星・気象衛星の最新開発状況，三菱電機技報，**91**，No.2，117～120（2017）
- (6) 須永輝巳，ほか：衛星搭載用デジタル分波/合波の低消費電力化に関する一検討，電子情報通信学会総合大会，B-3-13（2017）
- (7) Tani, S., et al.: Flexibility-Enhanced HTS System for Disaster Management: Responding to Communication Demand Explosion in a Disaster, IEEE Trans. on Emerging Topics in Computing, DOI: 10.1109/TETC.2017.2688078 (2017)