

2 1GHz 帯衛星放送のための降雨減衰対策技術の研究 (155003002)

Rain attenuation mitigation technologies for 21GHz band satellite broadcasting

研究代表者

福地 一 首都大学東京

Hajime Fukuchi Tokyo Metropolitan University

研究期間 平成 27 年度～平成 28 年度

概要

次世代の 21GHz 帯衛星放送の降雨減衰対策として、タイムダイバーシチ、サイトダイバーシチ、適応衛星送信電力制御の各方法を取り上げ、日本及びタイの降雨強度、衛星電波受信強度の各データを用いて効果の評価を行った。日本全国のレーダ観測から得られた降雨強度データから前述の対策を実施した時の降雨減衰補償効果が明らかになった。特に、日本（関東、関西、九州）とタイの降雨強度空間相関特性の解析から、それぞれの国でサイトダイバーシチの効果的な実施方法に関する示唆が得られた。

1. まえがき

本研究は、国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) において、次世代衛星放送システム用の周波数として第 1 地域 (欧州) 及び第 3 地域 (アジア・オセアニア) に割り当てが決められている 21GHz 帯電波を用いた衛星放送システムの降雨等による回線品質劣化対策技術の効果の評価を通じて新周波数帯の利用を促進する研究である。

21GHz 帯衛星放送システムは、12GHz 帯に比して周波数が高いため、その実用化にあたっては、降雨等の気象粒子による電波伝搬特性の劣化の把握とその克服技術の確立が不可欠である。

そこで、本研究では、日本全国の実測降雨強度データなどを用いて、いくつかの降雨減衰対策技術を定量的に評価し、それらの結果をもとに、わが国の 21GHz 帯衛星放送システムにふさわしい降雨減衰対策を提言することを目的とする。さらに、この周波数帯域の割り当ては、第 3 地域としてアジア全体で同様の利用をすることとなっている。そこで、タイにおいて測定された降雨強度データ、衛星回線降雨減衰データを用いて降雨減衰対策効果について日本との比較を行った。

2. 研究開発内容及び成果

2. 1. 日本全国の降雨強度累積分布の導出

気象庁から提供される日本全国 1km メッシュ点の 5 分毎の降雨強度データを用いて日本全国の降雨強度累積分布を求めた。図 1 は、初期的な解析として 2009 年 7 月からの 3 年間の降雨レーダデータから求めた累積時間率 0.01% の日本全国の降雨強度累積分布を示したものである。予想どおり、図 1 から、九州、四国南部に強雨が発生しやすく、北海道では強雨が少ないことがわかる。これらの結果は、従来の地上雨量計から求められた結果と同様であり、降雨レーダデータが空間分解能も高く降雨減衰対策技術の解析に有益であることが確認された。ただし、降雨レーダ推定降雨強度データの欠点として青森西部のあたりにみられるように、データの欠測地域があることが挙げられる。これは、山岳など地形上の理由でレーダ送信波が届かない地域があるためである。このような地域のデータは当然ながら正確な降雨強度データが得られていないため、解析対象からははずすなどの考慮が必要である。

2. 2. 適応衛星送信電力制御法の効果

降雨減衰対策の 1 つとして適応衛星送信電力制御法がある。これは、強い降雨ほど狭い範囲になることを考慮し、

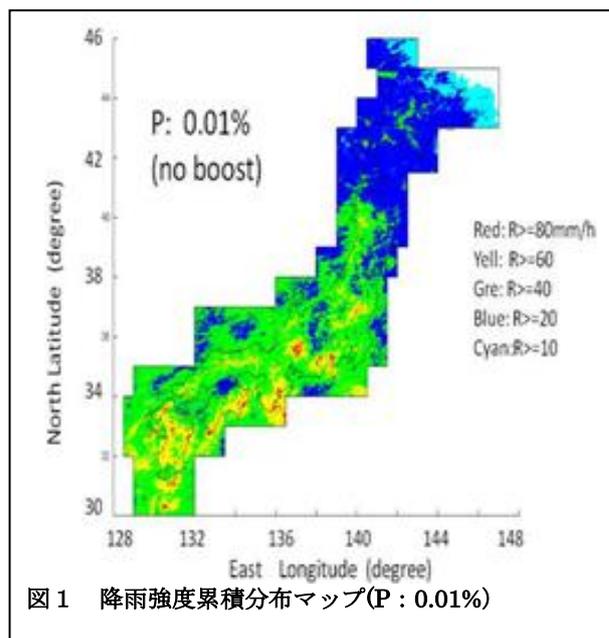


図 1 降雨強度累積分布マップ(P : 0.01%)

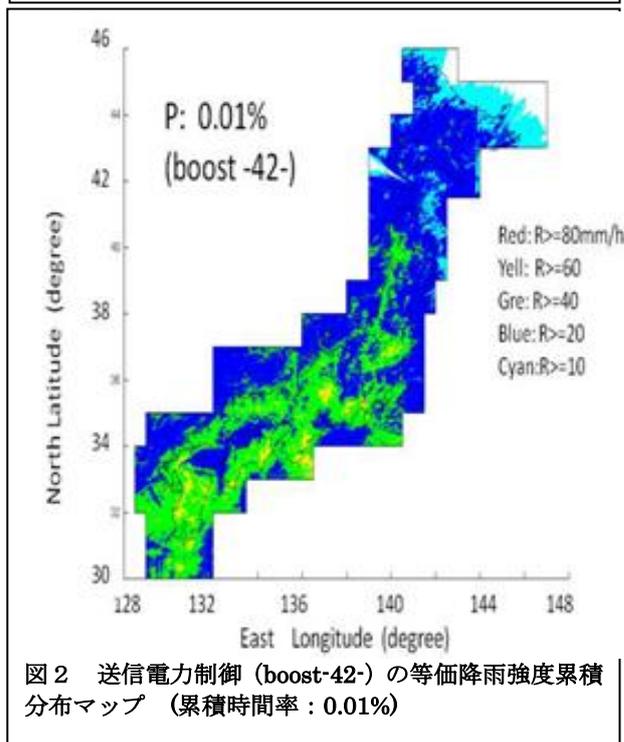


図 2 送信電力制御 (boost-42-) の等価降雨強度累積分布マップ (累積時間率 : 0.01%)

強雨地域のみ電力を増力する手法である。この手法の効果を定量的に評価するために、送信電力制御時の等価的な降雨強度累積分布を求めてみた。すなわち、増力するビームのサイズを4種類(50,100,150,200km直径)、同時に用意するビームの本数を1~4として、そのビーム内では等価的に20mm/h相当の降雨減衰(周波数20GHzでは約10dB相当の降雨減衰)が補償されることとする。以後、増力ビーム本数をm、ビーム直径をn(小さい順に1から4)としてboost-mnのように増力ケースを表すこととする。図2はboost-42-の場合の累積時間率0.01%の等価降雨強度をカラーマップで示したもので、図1と比較すると本手法の効果を定量的に評価することができる。解析の結果、適切な送信電力制御法は、増力される地域の面積が同じとしたとき、1つのサイズの大きな増力ビームを用意するよりは、多くの小さい増力ビームを用意して、多くのローカルピークを有する地域を補償するほうが有利であることが示された。

2. 3. タイムダイバーシチ法の効果

降雨減衰対策の1つとして、タイムダイバーシチ法がある。これは、強い降雨ほど短時間になることを考慮し、時間差をもって、送信コンテンツを再送する手法である。この手法の効果を定量的に評価するために、タイムダイバーシチ時の等価的な降雨強度累積分布を求めた。その結果、この方法では、非常に大きな等価降雨強度の減少が期待できることがわかった。全国729,700箇所の降雨強度累積分布の解析から、場所によっては、120分のタイムダイバーシチにより2つの時点での降雨強度が無相関とみなせる大きなダイバーシチゲインが得られることがわかった。

2. 4. サイトダイバーシチ法の評価のための降雨強度空間相関特性

降雨減衰対策の1つとして、サイトダイバーシチ法がある。この手法は、衛星放送の場合にはフィーダリンクにすでに実用化されている。つまり、降雨強度の相関が低くなるほど距離の離れた地球局を2局以上用意し、降雨の影響の少ないフィーダリンクを選択的に利用する方法である。この手法においては、複数局の距離や方向など最適なサイトダイバーシチパラメータを求める必要がある。この手法の最適化には降雨強度の空間的な相関特性の知見が有効であるが、従来は地上設置の雨量計でしか空間の降雨強度が測定されていないため、特に近距離の空間相関特性が明らかにされていない。このような近距離降雨強度空間相関の解析にうってつけなデータが近年降雨レーダデータの配布によって入手可能となっている。

図3は、関東地方の解析例で、降雨強度の空間相関特性を等高線として示している。当然ながら、中心から離れるにつれ2地点の距離が離れ、降雨強度の相関が低下することがわかる。降雨強度空間相関係数は、距離に依存するだけでなく図3に示すように方向によっても異なる。この点は実用的に重要であり、サイトダイバーシチの副局の設置場所は主局から近い方がメンテナンスコストが小さくなるが、より短い距離で同じだけ降雨強度の相関が下がる方向があることがわかった。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

21GHz帯衛星放送は、国際電気通信連合(ITU)において第1(欧州)、3(アジア、オセアニア)地域の各地域において周波数が割り当てられ実用化が可能となっている。日本では、8K超高精細放送が21GHz帯衛星放送の有望なコンテンツであったが、4K放送の実用化の流れに

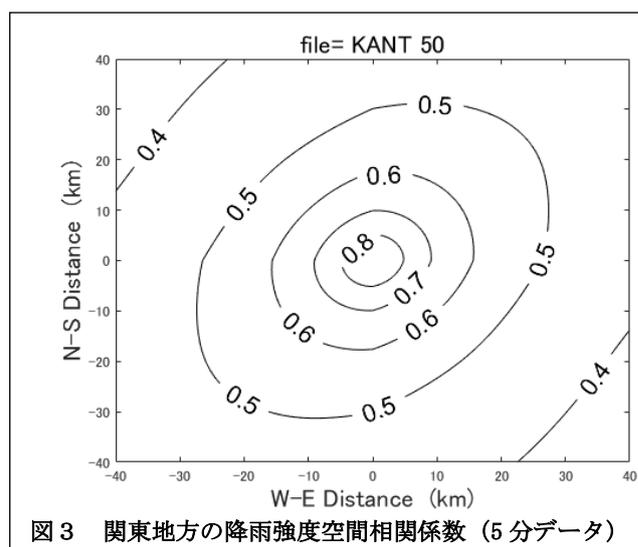


図3 関東地方の降雨強度空間相関係数(5分データ)

呼応して、情報圧縮も手伝って現行の12GHz衛星放送で試験放送が開始されている。このような状況から21GHz帯衛星放送の大容量性を活かした高付加価値放送が近々に実用化されることは難しい状況である。ただし、2017年後半に打ちあげられるBSATには21GHz帯の実験用中継器が搭載され、日本全国を対象にした伝搬実験が開始される予定である。このような基礎実験を通じて、衛星放送技術の先進国であるわが国が率先して、本研究成果にあるような降雨減衰対策の実衛星実証を果たし、世界に先駆けて21GHz帯衛星放送の実用化を果たすことを期待したい。

4. むすび

本研究の結果、以下の点が明らかとなった。

- (1) 降雨減衰の把握及び降雨減衰対策技術の評価に時間・空間で高分解能な降雨レーダのデータが有益である。
- (2) 適応送信電力制御法では、同じ増力ビーム面積を確保する場合、径の小さい複数のビームで降雨強度のローカルピーク地点を増力するほうが、日本全体の効果は大きい。
- (3) タイムダイバーシチ法は、リアルタイムでの情報提供は犠牲になるが、ダウンリンクでの降雨減衰対策として安価で効果の大きい手法である。
- (4) サイトダイバーシチ法は、フィーダリンクでの降雨減衰対策として効果が大きい。日本においては、降雨強度の空間相関係数の距離依存性に異方性があり、望ましい副局置局方向がある。

【誌上发表リスト】

- [1] P.Chodkaveekityada and H.Fukuchi, "Differences in the dynamic properties of rain fade between temperate and tropical regions", *Advances in Space Research*, Vol.59 Issue 5 pp.1321-1329 March 2017
- [2] P.Chodkaveekityada and H.Fukuchi, "Evaluation of adaptive satellite power control method using rain radar data", *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E99-B No.11 pp.2450-2457 Nov. 2016
- [3] P.Chodkaveekityada and H.Fukuchi, "Time diversity evaluation for attenuation mitigation method using attenuation data in Thailand and Japan", *Int. J. Satellite Communications and Networking*, June 2016, DOI:10.1002/sat.1184