

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560359

研究課題名(和文) 次世代衛星通信・放送の回線品質補償技術の開発

研究課題名(英文) Development of the compensation technique of the link quality on the next-generation satellite communications and broadcast

研究代表者

藤崎 清孝 (FUJISAKI KIYOTAKA)

九州大学・システム情報科学研究院・准教授

研究者番号：20253487

研究成果の概要(和文)：

次世代の高速衛星通信・放送の回線品質安定化を目標に、マルチビーム衛星に対して以下の結果を示した。(1)降雨が回線に与える影響を気象予測データから予測し、送信電力制御等を行う対策は有用である。(2)効果的補償には、より短時間の降雨予測と対応が必要である。(3)短時間に強い雨が降る場合には、送信電力の制御だけでなく、符号化率や伝送速度の変更などの対策も必要である。また、大気が回線品質に与える影響を評価し、アンテナサイズが大きくなると大気揺らぎの影響が無視できないことを示した。

研究成果の概要(英文)：

With the goal of the stable use of the next-generation high speed satellite communications and broadcast system, we showed the following results for multi-beam satellites. (1) On the basis of the prediction of the rain effect from weather prediction data in the each beam area, the measures to control transmission power are effective. (2) The rain prediction in a shorter time is necessary to achieve an effective compensation. (3) When strong rain falls in a short time, as well as the control of the transmission power, the measures such as changes of an encoding rate and the transmission speed are necessary. In addition, we evaluated the influence of the atmosphere on the link and showed that the influence of the atmospheric fluctuation could not ignore when antenna size became large.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：衛星通信、衛星放送、情報通信、降雨減衰補償、電波伝搬、ビットエラー、信号減衰、無線通信

## 1. 研究開始当初の背景

(1) ユビキタスネットワークの実現に必要な無線技術による次世代マルチメディアネットワークの確立が求められてお

り、衛星通信に関しても高速化、大容量化が求められていた。一方、無線通信では、周波数が高くなるほど、大気や降雨が、回線品質に及ぼす影響は大きく、高

周波化、広帯域化だけでは、高速な衛星通信の実現はできないため、伝搬媒質の状況を考慮した対策が必要であった。

- (2) 国内では、情報通信研究機構と宇宙航空研究開発機構を中心に、次世代の通信衛星の研究・開発が、また日本放送協会においても、Ka帯を用いた次世代衛星放送に関する研究が進められていた。
- (3) 国外ではKa帯試験衛星を用いた伝搬実験がNASAやESAなどを中心に行われていたが、既存の通信技術を高周波化して伝搬特性を評価するような、基本実験が主であった。
- (4) 本研究室では、1993年から衛星通信実験を開始し、伝搬データ及び降雨強度や各種気象データを収集し、降雨と信号減衰の関係を評価にしてきた。更に、蓄積してきたデータを詳細に分析することで信号減衰を補償し、高品質の衛星回線を実現していく方法の検討を進めていた。

## 2. 研究の目的

高速通信を要求される次世代衛星通信及び衛星放送では、既存の周波数帯(Ku帯：12/14GHz)より、より高い周波数帯域：Ka帯(20/30GHz)やミリ波帯が用いられる。周波数が高くなるほど、降雨による減衰が極端に大きくなるため、安定した通信回線の確保には、大気や降雨の影響を予測して対応する技術が不可欠である。本研究では、複数のビームを用いて通信エリアをカバーするマルチビーム衛星を用いた次世代のシステムを対象に、エリア毎に回線品質を推定し、予測値に応じて回線品質を安定化する方法を提案する。具体的には、各種気象データから衛星回線の品質の時間的な変動を予測し、その結果に基づいて各ビームの設定を最適化することで、安定した高速通信を実現するための方法について検討する。本研究では、研究室で蓄積してきた伝搬に関する実験データと降雨強度等の気象データ、気象庁が配信しているアメダスデータ等を用いて、大気媒質が衛星回線に及ぼす影響を評価し、その結果に基づいて次世代の衛星通信回線の品質を補償する技術について検討し、有効性を評価する。

## 3. 研究の方法

- (1) 伝搬実験で取得してきた受信信号レベル、降雨強度等の実験データを用いて、回線品質が低下している時の電波伝搬状況と降雨の関係を評価し、降雨が衛星通信の電波伝搬に与える影響の統計的性質を示す。

- (2) 回線品質低下時前後の電波伝搬データと降雨等の気象データから、回線品質の時間的な変化を追跡し、回線品質に影響を与える気象の変動状態について時間的特徴を抽出する。
- (3) 気象庁が発表している気象予測データをもちいて各ビームの回線品質を予測し、その結果に基づいて送信電力制御、符号化率の変更、通信速度の変更等の適用による回線補償を行い、その有効性を評価する。
- (4) Ka帯衛星回線については、周波数が高くなることから、降雨による影響が大きくなるのはもちろんのこと、それ以外の要素、具体的には大気の揺らぎによる屈折率の変動の影響も無視できない可能性があるため、理論的な視点から大気媒質の揺らぎの影響についても解析を行い、その影響を評価する。

## 4. 研究成果

- (1) 実験で取得してきた降雨強度と受信信号レベルのデータを用いて、衛星通信の電波伝搬に影響を与える降雨の状況について統計的な評価を行った。その結果、一定時間内の降雨のありかたには、弱い雨が長時間降り続く状況や強い雨が短時間に降るといった様々な状況があるため、より効果的な制御を行うためには、1時間降水量の値だけで回線品質を評価することは適当ではなく、前後の時間のデータをも組み合わせて、更に高次の統計量も活かした解析が必要であるという結果を得た。
- (2) 回線補償法の検討の1つとして、気象庁が発表している1時間降水予測値を参考にしてマルチビーム衛星放送の回線品質を単純に予測し、劣化が予測されるビームの電力を増力する方法の有効性を評価した。単純な方法ではあるが回線品質をわずかではあるが改善できる可能性を得た。ただし、九州や沖縄を指向するビームに対しては電力増幅だけの対応では所望の品質を得ることが困難であった。
- (3) 気象庁から発表される気象データは、1時間を基準としたデータが主であることから、これまで衛星回線の品質を予測するための評価基準として1時間降水量を用いてきた。しかし、1時間内に観測される降雨の状況にはばらつきが大きく、効率的な予測を行うためにはより短い時間で降雨を評価し、回線品質を予測

することが必要であることを示した。国内に配置されている幾つかの気象観測所においては、観測される短時間降水量の基準が10分間となっていることから、この時間を基準として降雨強度と降水量の関係及び信号減衰の関係を評価したところ、降水量と観測された降雨強度、信号減衰量間のばらつきが小さくなり、精度よい予測につながる可能性を得た。

- (4) 10分間降水量と観測時間内に観測される降雨強度の関係を調査し、降水量が多くなるに従って、観測される降雨強度が大きくなること、観測される降雨強度が広く分布していくこと、降雨強度の分布の広がりは一様ではなく、ピーク値をもつことを明確に示した。これまで主に用いられていた1時間降水量を用いた解析では、時間内に観測される降雨強度が小さい降雨強度側に偏って分布してしまう。これにより降雨の衛星回線への影響が過小評価される傾向があった。これに対して、10分間降水量を用いることで、衛星回線に対する降雨の影響をより適切に評価できることを示した。
- (5) 回線品質補償技術の検討では、強い雨がどの程度の時間に亘って観測されるかが重要となる。このため衛星回線に影響を及ぼす降雨が持続する時間の評価を行った。実験データに対して、幾つかの降雨強度の閾値を定め、それを超える降雨が持続する時間を評価した。解析の結果、降雨強度が強くなるほど閾値を超える降雨が持続する時間が短くなるが、降雨強度が30mm/hを超える強い雨の場合でも10分を超えて持続する場面があることを示した。このことから衛星回線に影響を及ぼす降雨の持続時間は、数分間続くこともあり、回線を維持するためには、送信電力の増力だけでは十分な対策がとれず、符号化率の変更、伝送速度の変更、タイムダイバシティの適応などが必要であることを示した。
- (6) 回線品質補償技術の有効性の評価をより正確に行うための準備として、実験で得られた受信信号レベルの時間変化量を用いてビット誤りを模擬する方法を検討した。その結果、ビット誤りが発生し始めるあたりの信号変動については実測に近い振る舞いをもつビットエラーを発生できた。
- (7) 情報通信研究機構と宇宙航空研究開発機構を中心に開発されたKa帯を用いた技術試験衛星である超高速インターネ

ット衛星WINDSを用いた通信実験を九州内の福岡、佐賀、鹿児島間で実施し、降雨がKa帯衛星通信に及ぼす影響を観測し、通信回線の品質を評価した。実験中に短時間ではあったが集中的な降雨が観測された。実験により、既存のKu帯と比較して大幅な信号減衰が発生することが実証され、降雨対策が不可欠であることを確認した。

- (8) Ka帯の衛星通信への影響は降雨だけでなく、大気媒質の状態がランダムに変動することによる屈折率の変動による影響も大きくなることが予想される。理論的な視点から、不均質乱流媒質中の多重散乱理論を用いて、大気がKa帯衛星通信の電波伝搬に及ぼす影響の解析を進め、アンテナの開口が大きくなるにつれて大気媒質の揺らぎによる回線品質への影響が無視できなくなることを示した。
- (9) Ka帯の衛星通信へ大気媒質の揺らぎが与える影響をアップリンクとダウンリンク別に評価した。地球から衛星に向けたアップリンク通信時には大気乱流によって引き起こされるビーム波の到来点が揺らぐスポットダンシングと波面の波形が歪む影響により誤り率が増加すること、衛星から地球局に向けたダウンリンク通信時には受信波の空間コヒーレンスの減少が主要因となって誤り率が増加することを数値解析により確認し、大気乱流媒質が与える影響が上り回線と下り回線で異なることを示した。

本研究により以上の結果を得た。これらより次世代の衛星通信・放送システムを用いて高速にかつ安定したサービスを実現するためには、降雨等の影響を的確に予測し、適応的に回線制御を行う技術が重要であるという結果を得た。しかしながら、この研究で示した適応制御の方法については、始まりに過ぎず、まだ最適なものとは言えない。より最適な制御を実現するためには、今後もより詳細な伝搬解析を進めると共に、実際に衛星を用いた実験やシミュレーションによる評価を繰り返し実施して必要がある。このため、今後も継続して研究を進め、最適な方法の提案を目指していく。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① T. Hanada, K. Fujisaki, and M. Tateiba,

Theoretical Analysis of Bit Error Rate of Satellite Communication in Ka-Band under Spot Dancing and Decrease in Spatial Coherence Caused by Atmospheric Turbulence, Progress In Electromagnetics Research C, 査読有, 3 巻, 2008, pp.225-245.

- ② T. Hanada, K. Fujisaki, and M. Tateiba, Theoretical Analysis of Bit Error Rate of Satellite Communications in Ka-Band through Atmospheric Turbulence, Proc. The 7th Asia-Pacific Engineering Research Forum on Microwaves and Electromagnetic Theory, 査読無, 1 巻, 2008, pp.7-15
- ③ T. Hanada, K. Fujisaki and M. Tateiba, Theoretical Analysis of Bit Error Rate for Downlink Satellite Communications in Ka-band through Atmospheric Turbulence Using Gaussian Model, Proc. 2009 Korea-Japan Joint Conference on AP/EMC/EMT, 査読有, 2009, pp.35-38
- ④ T. Hanada, K. Fujisaki and M. Tateiba, Theoretical Analysis of Bit Error Rate for Satellite Communications in Ka-band under Atmospheric Turbulence Given by Kolmogorov Model, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 査読有, 23 巻, 2009, pp.1515-1524
- ⑤ T. Hanada, K. Fujisaki and M. Tateiba, Average Bit Error Rate for Satellite Uplink Communications in Ka-band under Atmospheric Turbulence Given by Gaussian Model, Proc. the 15th Asia-Pacific Conference on Communications, 査読有, 2009, pp.438-441
- ⑥ T. Hanada, K. Fujisaki and M. Tateiba, Average Bit Error Rate for Satellite Downlink Communications in Ka-band under Atmospheric Turbulence Given by Gaussian Model, Proc. 2009 Asia-Pacific Microwave Conference, 査読有, 2009, CD-ROM
- ⑦ K. Fujisaki, G. Satoh, and M. Tateiba, Relations among 10-minute precipitation, rainfall intensity and Ku-band rain attenuation in Kyushu Island, Japan, Proc. of 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, 査読有, 2010, pp.581-586

[学会発表] (計4件)

- ① 村岡 裕之、藤崎清孝、立居場光生, Ka 帯マルチビーム衛星放送の回線品質改善法の検討 I, 映像情報メディア学会放送技術研究会, 2009年1月22日, 福岡大学
- ② 松田 俊平、藤崎清孝、立居場光生, 受信信号レベル変動に基づいた衛星通信のビットエラー模擬法の研究, 映像情報メディア学会放送技術研究会, 2009年1月22日, 福岡大学
- ③ 佐藤 剛志、藤崎清孝, 降雨状況を考慮した降雨減衰確率の推定に関する研究(I), 第62回電気関係学会九州支部連合大会, 2009年9月29日, 九州工業大学
- ④ 中野 哲夫、藤崎清孝, 九州における10分間降水量と1分間降雨強度の統計的な関係の解析, 第63回電気関係学会九州支部連合大会, 2010年9月26日, 九州産業大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計0件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤崎 清孝 (FUJISAKI KIYOTAKA)  
九州大学・大学院システム情報科学研究  
院・准教授  
研究者番号 : 20253487

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

立居場 光生 (TATEIBA MITSUO)

有明工業高等専門学校・校長

研究者番号：40037924