

# 福岡工業大学 機関リポジトリ

## FITREPO

Title	アメダス降水データを用いたマルチビーム衛星システムの回線品質改善法の検討 － 最適ビーム制御時のダウンリンク回線の稼働率評価 －
Author(s)	藤崎 清孝
Citation	福岡工業大学情報学研究所所報 第28巻 P9-P14
Issue Date	2017-10
URI	<a href="http://hdl.handle.net/11478/747">http://hdl.handle.net/11478/747</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

Fukuoka Institute of Technology

# アメダス降水データを用いたマルチビーム衛星システムの回線品質改善法の検討 — 最適ビーム制御時のダウンリンク回線の稼働率評価 —

藤崎 清孝 ( 情報工学部情報通信工学科 )

Study on Improvement of Link Quality using AMeDAS precipitation data  
for Multibeam Satellite System

— Evaluation of the Down Link Availability under the Most Suitable Beam Control —

Kiyotaka FUJISAKI (Department of Information and Communication Engineering, Faculty of Information Engineering)

## abstract

By the next-generation satellite communications and broadcast using a high radio frequency, the realization of higher-speed service is demanded. However, it is not easy to maintain link quality because influence of the rain becomes remarkable. Therefore techniques to control link parameters of multi-beam satellites adaptively depending on propagation environment are very important. In order to improve the link quality, we consider the optimization of the beam parameter after the prediction of the link quality of the next time of each beam from weather data. In this article, we report the result that examined the link availability of satellite link when the most suitable beam control was carried out for some improvement method based on weather data.

**Keywords:** 衛星回線、回線稼働率、降雨減衰、品質保証, AMeDAS

## 1. まえがき

衛星通信・放送は、広域性や同報性に優れており、広範囲に分散するユーザへの情報提供やユーザ間の情報交換に非常に有用な手段となる。また、このシステムは中継器が宇宙空間にあることから災害にも強く、地震などの大規模な災害発生時の通信・放送手段として、大変重要である。

衛星通信・放送の伝搬路となる空間の品質は一定ではなく、気象状況による影響、特に降雨による影響を大きく受ける。この影響は、周波数が高くなるほど顕著に大きくなり、Ka帯以上の周波数を用いた次世代の衛星システムに対しては、既存の技術の適用だけでは、天候悪化時の伝搬環境において十分な品質を保証できない。

高周波数帯を用いる次世代の衛星通信・放送では、降雨の影響による信号減衰がより大きくなる。このため、従来通りのITU-R<sup>(1)</sup>の勧告を参考に、品質維持用の降雨マージンを計算し、それに必要な電力を常時供給する方法は、衛星上の電力供給システムが送信系に供給できる電力の制限から不可能と考えられる。もし供給できたとしても、晴天時の回線品質が十分保たれている状況下では、無駄に電力が地上に降り注ぐことになり、場合によっては、その他の通信系への悪影響など、何らかの問題を引き起こす可能性も有る。衛星システムに於いて必要以上に電力を消費せず、可能な限り回線品質を維持するためには、電波伝搬の状況を監視し、適用的に回線品質を補償する技術の導入が必要となる。この対応の1つとして、サービスエリアを複数のエリアに分割し、エリア毎に回線品質を評価し、回線

品質が悪化するエリアのビームに割り当てる電力を増力したりすることで回線品質の劣化を補う方法が検討されており<sup>(2-4)</sup>、当研究室でもこの課題に取り組んでいる<sup>(5,6)</sup>。

回線品質の降雨による劣化を補償する適応制御技術の実現には、降雨が回線品質に与える影響を把握するだけではなく、その影響がどの程度の時間持続する可能性があるかを予測する必要がある。これらの評価には、カバーすべき範囲内を細かく網羅して、短時間間隔で降雨データを観測することが求められるが、これを可能とする機器を事前に全国に整備することは容易ではない。一方、日本に於いては全国をカバーするように配置された自動気象データ収集システムであるアメダス (AMeDAS: Automated Meteorological Data Acquisition System: 自動気象データ収集システム) や宇宙から地球上の気象状況を観測する「ひまわり」などの気象観測衛星が整備されており、これらにより取得された降雨関係のデータを活用することが考えられる。文献<sup>(2,3,5)</sup>では、このアメダスで得られた1時間降水量データをもとにして、1時間単位で降雨が衛星回線に与える影響を評価し、対策の効果などを評価している。しかし、衛星回線に影響を与える様な強い降雨が降り続く時間は、1時間も継続することは無く、実際には短時間となるため、1時間を単位に対策の有用性を評価する方法は適当ではない。雨の降り方を考えるとき、同じ1時間降水量となる雨であっても、衛星回線には影響がない雨が長時間降り続く場合もあれば、影響のある強い雨が短時間発生し、残りは晴れたり非常に弱い雨が続き場合もある<sup>(7)</sup>。このため衛星回線に影響のある雨をできる限り見落とさないよう、解析には短時

表 1 シミュレーション諸元

Table 1. Simulation specifications.

ビーム数	9
同時に増力可能なビーム数	1 ~ 4
送信用総電力	100 W
増力用総電力	50 W

間降水量データが求められる。現在のアメダスでは、全国で 10 分間毎の降水量が測定されており、これを活用することで、衛星回線への降雨の影響の見落としを減らせ、電波伝搬への降雨の影響のより詳細な解析を行うことが可能になる<sup>(6)</sup>。

本論文では、次世代のマルチビーム衛星を対象に、アメダスの 10 分間降水量を用いて降雨が衛星回線に及ぼす影響をビーム毎に予測し、降雨の影響が大きいと予測されるビームに対しては電力を通常より増力した状態で運用し、稼働率を評価することで降雨対策の有効性を示す。降雨の影響を予測する方法として、エリア内で降雨が予測される地点数、あるいはエリア内の平均予測降水量を評価するなど、いくつかの予測方法を適用し、それぞれの手法の効果を比較する。またビーム電力の増力用として利用できる総電力を固定し、これを同時に利用できるビームの最適な数を検討する。

## 2. 降雨減衰対策及び稼働率評価法

次世代の衛星通信・放送では、マルチビーム衛星を用いることで周波数帯の効率的な利用が可能となる。更に、各ビームがカバーするエリア内の天気を予測し、回線品質の悪化が見込まれる場合に通信回線に事前に何らかの対策を行うことで、より安定した衛星回線の提供が可能となる。

本論文では、技術試験衛星 COMETS や WINDS を参考に、図 1 に示すような 9 つのビームで日本をカバーし、各ビーム内にあるアメダスで得られる降水量データを用いて、各エリアの衛星回線への降雨の影響を推定する。次に、その結果から降雨の影響が大きいビームエリアを選択し、降雨減衰対策を施す。その後、降水量データを用いて個々の観測地点での稼働・不稼働を判定し、その結果を総合し、各ビームエリアの稼働率を評価する。降水量を観測するアメダスは、現在、全国に約 1300 カ所あり、日本全土の降水を約 17km の間隔で細かく評価出来る状況にある。本解析では、アメダスで観測されている気象データの中から 10 分間降水量を予測と稼働率の評価の両方に活用した。

<2.1> 降雨減衰対策 表 1 に今回のシミュレーションの諸元を示す。衛星がカバーする 9 つのビームには平常時には 100 W (1 ビームあたりの電力は 11.1 W) の電力を配分する。その上で、回線品質の劣化が見込まれる可能性が高い順に、増力用電力の一部を追加配分する。増力するビームの数は最大 4 つとし、各ビームに配分される増力用電力

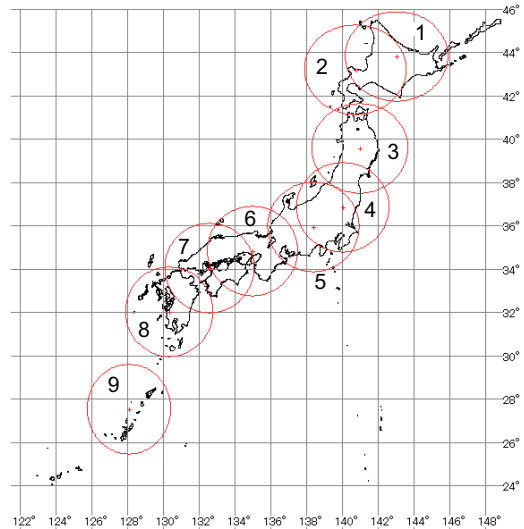


図 1 ビーム配置

fig. 1. Beam configuration.

は、増力するビーム数に応じた均等割とする。すなわち、増力するビーム数が少ないほど、1 つにビームに割り当てられる電力は大きくなるが、降雨を補償できるビームは少なくなる。

本論文では、増力するビームを選択する方法として、降水量データに基づいた以下の 3 つの方法を検討し、増力用の電力の割当を行う。

1. 地点数に基づく方法  
各ビーム内の全観測地点において、0.5 mm 以上の降水を観測した地点数を求め、これが多いビーム順に増力用の電力を割り当てる。
2. 降水を観測した地点の割合に基づく方法  
各ビーム内の全観測地点に対して、0.5 mm 以上の降水を観測した地点数と各ビーム内の全観測値点数から割合を求め、この値が大きいビーム順に増力用の電力を割り当てる。
3. 降水量の平均値に基づく方法  
各ビーム内の全観測地点において観測された降水量の総和を、各ビーム内の全観測値点数で割った平均値を算出し、この値が大きいビーム順に増力用の電力を割り当てる。

これらの手法に加え、増力をしない場合、増力分の電力をすべてのビームに均等に配分した場合についても評価を行い、それぞれの対策の有効性を評価する。今回のシミュレーションでは、降水量データの取得周期である 10 分間を基準としてビームの割当を変更する。

<2.2> 稼働率の評価方法 降雨減衰量の推定を行うにあたり、1km あたりの降雨減衰量  $\gamma$  [dB/km] は文献 (1) より

$$\gamma = kR^\alpha \quad (1)$$

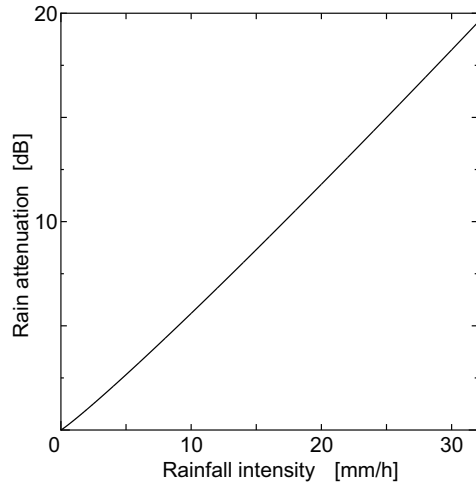


図 2 降雨強度と降雨減衰

fig. 2. Relation between rainfall intensity and rain attenuation.

表 2 増力するビーム数と救済可能降水量の関係

Table 2. Relations between the number of amplified beams and the upper limit of the tolerable precipitation.

増力するビーム数	配分電力	救済可能降水量
1	50 W	24 mm/h
2	25 W	21 mm/h
3	16.6 W	18 mm/h
4	12.5 W	15 mm/h

に従うとした。ここで  $R$  は降雨強度 (mm/h)、 $k$  及び  $\alpha$  は周波数等に依存するパラメータである。今回の解析では、衛星回線のダウンリンクを対象とし、文献 (3) の値を参考に周波数が 21 GHz の場合の値として、 $k = 0.0814$ 、 $\alpha = 1.0754$  を用いた。また降雨域の伝搬路長は東京における 0 度層高度 4.3km を基準とし、人工衛星の位置を技術試験衛星 WINDS の静止軌道位置である東経 143 度として求めた。具体的には、東京から衛星を見上げるときの仰角  $\theta$  が 48.09 度となることから、降雨域の伝搬路長は  $4.3 \text{ km} / \sin \theta$  より、約 5.78 km とした。これより、降雨強度と降雨減衰の関係を求めた結果を図 2 に示す。本来、各ビームと衛星間の距離は同じではなく、またビーム内の電力分布もビームの中心と端の部分では異なってくるが、本解析では、簡単化のためすべてのビーム範囲内で一様とし、同じ基準で稼働率の判定を行った。

評価を行うに当たり、ダウンリンクの条件を次のように定めた。1) 衛星では 100 W の電力を 9 つのビームに均等に配分する。2) 1 つのビームがカバーするエリア (ビーム直径) は 500 km とし、エリア内の電力密度は一様であるとする。3) 変調方式に TC8PSK を利用するとして、平常時の衛星回線の降雨マージンを 6.3 dB とする。この場合、図 2 より降雨マージンでカバーできる降雨強度は 11 mm/h 程度となる。一方、アメダスで観測される降水は 0.5mm 単

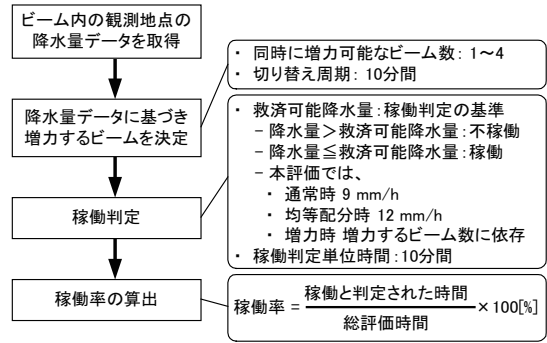


図 3 稼働判定の流れ

fig. 3. Simulation specifications.

位のため、10 分間降水量より換算される降雨強度は、分解能がその 6 倍の 3 mm/h となることから、3 mm/h 刻みの値をとることになる。このため、本解析では 11 mm/h を超えない 9 mm/h を閾値とし、これを超えたとき不稼働の判定とする。一方、増力分の電力を利用する場合には、増力するビーム数に応じて 1 つのビームに割り当てられる電力が変わるため、救済可能な降水量も変化する。増力できるビーム数と救済可能な降水量の関係を表 2 に示す。なお、増力分のビームを均等に 9 つのビームに配分した場合には、12 mm/h の降雨強度までが救済可能となる。ここで述べた稼働率評価の処理の流れを図 3 に示す。

これらの設定値を基に、2007 年の 3 月から 11 月のアメダス 10 分間降水量データを用いて、観測地点の 10 分間降水量からその時間帯の降雨強度を求め、その値が閾値を超えたかどうかで稼働と不稼働の判定を行った。また、比較のため 2005 年のデータでも同様の評価を行った。使用データを 3 月から 11 月の期間としたのは、北側に位置するエリアの冬期の降雪の影響を評価対象から外すためである。ビーム毎にそのビーム内にある全てのアメダス観測地点の 10 分間降水量データを利用し、式 (2) により稼働率を評価した。

$$\text{稼働率 (\%)} = \frac{\text{稼働と判定された時間}}{\text{総評価時間}} \times 100 \quad (2)$$

各ビームエリアに存在するアメダス観測地点の数は表 3 の通りである。ビーム番号は、図 1 に示すように北海道から順番に割り振っている。

### 3. 稼働率評価の結果

以上に述べた方法により、2007 年のデータからビーム毎の稼働率を評価した結果を表 4~7 に示す。これらの結果より、増力をしない場合の稼働率に比べて、適応制御を行った場合はいずれの手法においても平均稼働率が改善されていることが分かる。これは通常より余分に電力を供給して運用していることから当然の結果である。次に、増力分の電力を均等に配分した場合の結果と適応制御を行った場合

表 3 各エリアのアメダス観測地点数

Table 3. The number of AMeDAS observation point in each area.

ビーム	1	2	3	4	5	6	7	8	9
観測点数	181	214	198	291	371	317	282	174	26

表 4 稼働率 (2007 年)

Table 4. Link availability. (2007)

ビーム	なし	均等	地点数	割合	平均
1	99.881	99.928	99.943	99.948	99.948
2	99.870	99.921	99.942	99.942	99.942
3	99.736	99.836	99.880	99.884	99.885
4	99.707	99.815	99.867	99.864	99.864
5	99.641	99.768	99.833	99.825	99.826
6	99.636	99.757	99.816	99.809	99.813
7	99.584	99.706	99.768	99.762	99.770
8	99.392	99.553	99.629	99.641	99.648
9	99.268	99.451	99.478	99.562	99.572
平均	99.669	99.778	99.830	99.829	99.831

The number of amplified beams: 4

表 6 稼働率 (2007 年)

Table 6. Link availability. (2007)

ビーム	なし	均等	地点数	割合	平均
1	99.881	99.928	99.944	99.952	99.950
2	99.870	99.921	99.945	99.945	99.943
3	99.736	99.836	99.876	99.894	99.901
4	99.707	99.815	99.888	99.879	99.877
5	99.641	99.768	99.866	99.830	99.828
6	99.636	99.757	99.818	99.790	99.794
7	99.584	99.706	99.773	99.761	99.792
8	99.392	99.553	99.621	99.679	99.718
9	99.268	99.451	99.451	99.668	99.698
平均	99.669	99.778	99.839	99.835	99.843

The number of amplified beams: 2

表 5 稼働率 (2007 年)

Table 5. Link availability. (2007)

ビーム	なし	均等	地点数	割合	平均
1	99.881	99.928	99.946	99.957	99.955
2	99.870	99.921	99.949	99.947	99.947
3	99.736	99.836	99.899	99.907	99.908
4	99.707	99.815	99.887	99.881	99.882
5	99.641	99.768	99.865	99.849	99.849
6	99.636	99.757	99.840	99.821	99.828
7	99.584	99.706	99.793	99.786	99.800
8	99.392	99.553	99.645	99.678	99.702
9	99.268	99.451	99.500	99.632	99.650
平均	99.669	99.778	99.850	99.848	99.854

The number of amplified beams: 3

表 7 稼働率 (2007 年)

Table 7. Link availability. (2007)

ビーム	なし	均等	地点数	割合	平均
1	99.881	99.928	99.902	99.930	99.928
2	99.870	99.921	99.930	99.904	99.905
3	99.736	99.836	99.844	99.873	99.878
4	99.707	99.815	99.798	99.805	99.800
5	99.641	99.768	99.815	99.743	99.741
6	99.636	99.757	99.719	99.719	99.730
7	99.584	99.706	99.699	99.657	99.654
8	99.392	99.553	99.547	99.637	99.700
9	99.268	99.451	99.438	99.680	99.729
平均	99.669	99.778	99.776	99.772	99.778

The number of amplified beams: 1

を比較する。この場合、増力するビーム数を 1 とした場合を除いて、いずれの手法でも適応制御を行った方が、平均稼働率を改善できることが示された。この状況は、表 8~10 に示した 2005 年のデータによる解析結果でも同じである。

ビーム選択方法である地点数、割合、平均による 3 つの方法を比べた場合、ビーム番号の小さい、比較的降雨の少ないエリアをカバーするビームの稼働率には、それほど差は無い。一方、多雨地域をカバーするビームにおいては、稼働率は地点数 < 割合 < 平均となり、平均による方法が最も高い稼働率を実現できることが分かる。多雨地域の稼働率の改善度が低い地点数による方法の場合、降水が観測される地点の数が増力するビームの選択の基準となるため、ビーム内の観測点数が少ないと選択されにくくなる。各ビーム内の観測点数は表 3 の通りであり、この表から分かる通り、ビーム 9 は特に観測点数が少ないため、増力対象とし

て選択される機会が少なく、稼働率が改善されにくい原因の 1 つと考えられる。そのことを確認するために、各手法において実際にビームが選択された割合を調査した。結果を表 12 に示す。この表から、ビーム 9 においては、地点数による方法を用いた場合、そのビームが増力するビームとして選択される割合が、割合や平均による方法と比べると、10 %程度少ないことがわかる。しかし、地点数によるビーム選択の割合を同手法による他のビームと比べてみると、それほど大きな差は無く、増力用電力の割当は同程度が多いくらいである。このような状況にもかかわらず、稼働率が低くなっていることから、次の様な原因が考えられる。1) 強い雨が降る場合は雨域が狭くなるため、観測地点数が減り、増力用の電力が割り当てられなかった。2) 増力用の電力は割り当てられたが、それでは降雨への対応ができなかった。原因 1) がどの程度発生しているかについては、現

表 8 稼働率 (2005 年)

Table 8. Link availability. (2005)

ビーム	なし	均等	地点数	割合	平均
1	99.850	99.911	99.934	99.939	99.939
2	99.842	99.907	99.935	99.934	99.934
3	99.753	99.845	99.881	99.887	99.886
4	99.717	99.813	99.858	99.854	99.856
5	99.661	99.772	99.830	99.816	99.822
6	99.670	99.772	99.824	99.817	99.822
7	99.599	99.711	99.772	99.769	99.774
8	99.404	99.563	99.641	99.656	99.660
9	99.469	99.607	99.637	99.687	99.695
平均	99.681	99.783	99.832	99.830	99.833

The number of amplified beams: 4

表 10 稼働率 (2005 年)

Table 10. Link availability. (2005)

ビーム	なし	均等	地点数	割合	平均
1	99.850	99.911	99.947	99.957	99.957
2	99.842	99.907	99.953	99.954	99.951
3	99.753	99.845	99.868	99.879	99.881
4	99.717	99.813	99.881	99.870	99.871
5	99.661	99.772	99.861	99.823	99.833
6	99.670	99.772	99.817	99.792	99.814
7	99.599	99.711	99.801	99.790	99.809
8	99.404	99.563	99.654	99.734	99.757
9	99.469	99.607	99.607	99.759	99.783
平均	99.681	99.783	99.846	99.842	99.852

The number of amplified beams: 2

表 9 稼働率 (2005 年)

Table 9. Link availability. (2005)

ビーム	なし	均等	地点数	割合	平均
1	99.850	99.911	99.945	99.953	99.953
2	99.842	99.907	99.949	99.950	99.949
3	99.753	99.845	99.892	99.905	99.905
4	99.717	99.813	99.880	99.870	99.871
5	99.661	99.772	99.861	99.837	99.843
6	99.670	99.772	99.846	99.831	99.842
7	99.599	99.711	99.796	99.786	99.802
8	99.404	99.563	99.674	99.716	99.725
9	99.469	99.607	99.652	99.737	99.749
平均	99.681	99.783	99.854	99.850	99.856

The number of amplified beams: 3

表 11 稼働率 (2005 年)

Table 11. Link availability. (2005)

ビーム	なし	均等	地点数	割合	平均
1	99.850	99.911	99.868	99.920	99.920
2	99.842	99.907	99.935	99.893	99.891
3	99.753	99.845	99.845	99.867	99.863
4	99.717	99.813	99.789	99.798	99.796
5	99.661	99.772	99.821	99.759	99.771
6	99.670	99.772	99.741	99.733	99.742
7	99.599	99.711	99.743	99.683	99.683
8	99.404	99.563	99.551	99.691	99.749
9	99.469	99.607	99.592	99.776	99.806
平均	99.681	99.783	99.786	99.782	99.790

The number of amplified beams: 1

時点では評価できていない。原因 2) については、表 2 に示す様に増力するビームの数を一つずつ減らし、1 つのビームで救済できる降水量を大きくして解析した結果から、大凡の評価は可能となる。勿論、増力するビーム数が少なくなるにつれて降雨対策を行うビーム数は減るので、同じ状況での比較とはなっていない。しかし、増力するビーム数を減らすことで、ビーム 9 の平均による稼働率が、表 4~7 では 99.572 % から 99.729 % まで、表 8~11 では 99.695 % から 99.806 % まで向上することから、多雨地域には、降雨時により多くの電力を配分する必要があることが分かる。

次に、増力用の電力をいくつのビームに割り振るのが最も効果的であるかという課題について考える。文献 (3) では、アメダスの 1 時間降水量データをもとに同様の解析を行っているが、そこでは増力するビーム数は 4 つが適切であると述べられており、我々もこれをベースとして解析を行ってきた。しかしながら降雨の影響を 1 時間単位ではなく 10 分間単位の短い間隔で評価すると、降雨が衛星回線に及ぼす影響は更に大きく稼働率を低下させることが示された<sup>(6)</sup>。この結果は、ビーム 9 以外の地域に於いても、実際にはより短時間に強い雨が降っている割合が高いことを示

すものであり、従来の増力電力では、効果が十分でない状況が多くある可能性を示していると考えられる。しかしながら、増力用の電力を大きくすることは、衛星上の制限により容易なことではない。まずは増力用として供給できる電力は変更せず、増力するビーム数の最適化することを検討した。その結果が、表 4~7 と表 8~11 である。いずれの年も、平均あるいは割合によるビーム選択をした場合の稼働率は、増力用のビーム数を 4 つとした場合に比べて、3 つとした場合が全てのビームで高くなっている。また、ビーム数が 2 つの場合は、いくつかのビームで増力するビームが 4 つの場合より小さくなっているところもあるが、稼働率の平均は 4 つの場合より高くなっている。一方、増力用のビームを 1 つとした場合、先ほど述べたとおりビーム 9 の稼働率は大きく改善されるが、それ以外のビームについては、増力用の電力を均等割りした結果を下回る場合がほとんどとなり、稼働率の平均も増力するビームが 4 つの場合を下回る。これらの結果より、今回行った評価においては、ビームの選択は平均による方法により行い、増力用のビームは 3 つとして運用する方法がもっとも効果的であることが示された。

表 12 増力用電力が各ビームに割り当てられた割合 (2007 年)

Table 12. The ratio that electricity for amplification was assigned to each beam. (2007)

増力ビーム数	ビーム No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	地点数	30.54	38.17	39.31	48.71	50.97	54.62	47.38	48.49	41.81
	割合	38.39	37.83	42.02	46.55	42.94	49.08	44.17	50.02	49.00
	平均	37.10	36.42	40.95	46.20	43.70	50.13	45.64	51.14	48.72
3	地点数	22.84	30.41	32.14	39.29	42.49	30.78	37.92	33.34	30.80
	割合	31.53	30.14	36.14	35.00	32.48	24.46	35.11	35.29	39.84
	平均	29.82	28.45	34.71	34.85	33.07	25.71	36.66	37.10	39.62
2	地点数	16.38	22.85	19.65	31.06	29.99	18.54	18.76	25.62	17.15
	割合	23.32	21.76	24.17	26.30	19.39	13.73	15.63	28.23	27.46
	平均	21.39	20.03	23.42	25.70	20.03	14.47	17.22	30.25	27.49
1	地点数	3.96	14.36	11.25	13.26	17.29	7.92	7.82	11.21	12.92
	割合	13.04	6.56	16.03	11.29	7.39	6.06	4.82	12.08	22.73
	平均	11.97	5.87	15.48	10.70	7.34	6.45	5.18	13.93	23.08

#### 4. むすび

本論文では、次世代のマルチビーム衛星を対象に、衛星通信の降雨時の回線品質を補償する方法を検討するための基礎的な評価を行った。具体的には、アメダスの10分間降水量データを用いて、各ビームへの降雨の影響を3つの判定方法：1) 降雨が予想される地点数、2) 降雨が予想される地点数のビーム内の観測地点数に対する割合、3) 予想降水量の平均値、に基づいて評価し、降雨の影響が大きいビームに対しては、降雨対策としての増力電力の割り当てを行い、その後、衛星がカバーするエリアの稼働率を評価した。その結果、平均値に基づいて降雨の影響を評価し、対策をとる方法が最も効果的であることが示された。

次に、増力できるビームの数を4ビームの場合を基準に、3、2、1ビームと減らし、1ビームでカバーできる降雨減衰量を増やした場合の評価も行った。その結果、10分間降水量を基準にした今回の評価では、増力するビーム数を3つとし、観測地点数の割合あるいは平均降水量を基準に増力するビームを割り当てる方法が従来よりも効果的に稼働率を高くできるという結果を得た。この結果は、実際にはより短時間に強い雨が観測される割合が高く、その対策が必要であることを示すものである。なお、強い雨が降りやすい九州・沖縄をカバーするビームにおいては、増力ビームを1つにして稼働率を上げる方法が有効であったことから、他のビームに比べて少しでも多くの電力を配分できるような工夫が必要であろう。例えば、ビーム電力を全てのビームに一律に割り振るのではなく、エリア毎の降雨特性を考慮し、予測に応じてビーム数や増力電力を可変させる方法である。また、雨の降り方については、近年、関東や東北、北海道でも強い雨が観測されることが増えていることから、最近の気象データにもとづいた評価も必要である。

謝辞：本研究の一部は、福岡工業大学総合研究機構による平成28年度若手・新任教員スタートアップ支援により実施された。

(平成29年7月20日受付)

#### 文 献

- (1) Rec. ITU-R P.618-8 : Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems, ITU(2001)
- (2) 松戸孝, 唐沢好男, 塩川孝泰, “AMeDAS データを利用した On-board Resource Sharing による衛星回線降雨減衰補償効果”, 信学論 (B), vol.J76-B-II, no.5, pp.373-381(1993)
- (3) 吉野孝, 伊東士郎, “AMeDAS データを利用したマルチビーム型衛星放送における増力ビームの選択方法”, 信学論 (B), vol.J82-B, no.1, pp.64-70(1999)
- (4) 正源和義, 田中祥次, 中澤進, “21GHz 帯放送衛星搭載用アンテナの研究と今後の課題”, 信学論 (B), vol.J92-B, no.9, pp.1014-1024(2011)
- (5) 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, vol.33, no.3, BCT2009-2, pp.5-8(2009)
- (6) 藤崎清孝, “Ka 帯マルチビーム衛星システムの回線品質改善法の検討 I”, 信学技報, vol.115, no.448, SAT2015-75, pp.65-70(2016)
- (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, pp.581-586(2010)