# 状態遷移マトリクスを用いた降雨時の Ka 帯衛星稼働率評価に関する研究

寺本　卓矢　　千原　昇悟　（指導教員：中條　渉）

名城大学　理工学部

## 1. まえがき

衛星通信では、10GHz 以上の高い周波数を用いる場合降雨による受信レベルの減衰が避けられない。そのためにダイバーシティなどの様々な対策が必要となると共に、精度良い稼働率評価法が必要になってくる。そこで、本研究では受信データの解析を行い、状態遷移マトリクスを用いて降雨減衰時の衛星の稼働率評価を行った。時系列の測定データから求めた稼働率と状態遷移マトリクスから求めた稼働率とを比較し、両者が一致するかどうか検討した。また、状態遷移マトリクスを用いることで、継続時間をパラメータとした稼働率評価が容易に行えることを明らかにする。

## 2. 受信データの解析

図 1 には、Ka 帯衛星 WINDS と Ku 帯衛星 JCSAT-2A の受信レベル測定システムの構成を示す。図 2 には、2009 年 11 月 14 日の Ka 帯衛星 WINDS の衛星受信データと降雨強度計の受信データを示す。今回は 2009 年 4 月～11 月の Ka 帯衛星 WINDS の 1 秒間隔の測定データのうち、図 2 のように降雨が 10mm/h 以上のデータを 13 日間分使用し、稼働率評価を行った。

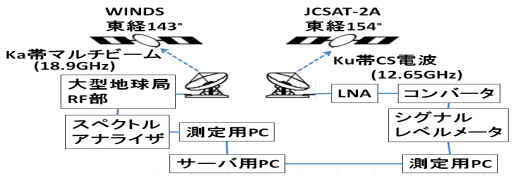



図 1. 受信レベル測定システム

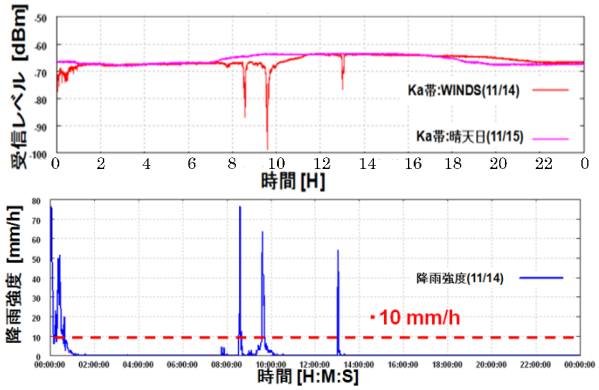



図 2. WINDS 衛星と降雨強度の受信データ

## 3. 衛星稼働率の評価法

降雨が 10mm/h 以上の WINDS の受信データを 13 日間分使用して、減衰量が 0.5dB 単位の状態遷移マトリクスを作成し、それを図 3 に示す。状態遷移マトリクスは、1 秒毎に測定した受信データの受信レベルが 1 秒前から 1 秒後に 遷移した回数を示しており、図 3 はそれを 3 次元プロットしたものである。また、稼働時間 $AT$ は式(1)で定義されており、継続時間 $t$ をパラメータとして図 4 に示す 3 つの時間から構成される[1]。ここで初期継続稼働時間 $AT1$ は、受信レベルがしきい値以下の不稼働状態から稼働状態に遷移し、再び不稼働状態になるまでの時間である。平均回復時間 $REC$ は不稼働状態になった後 $t$-1 秒以内に稼働状態に戻る時間を示し、その遷移確率を $P_{rec}$ とする。継続稼働時間 $AT2$ は $t$-1 秒以内に稼働状態に戻った後再び不稼働状態になるまでの時間を表している。インターネットのような蓄積型では継続時間 $t$ が大きくなる。

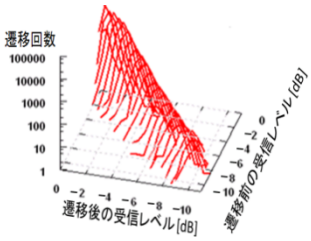



図 3. 遷移マトリクス

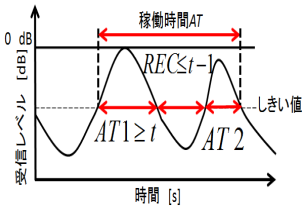
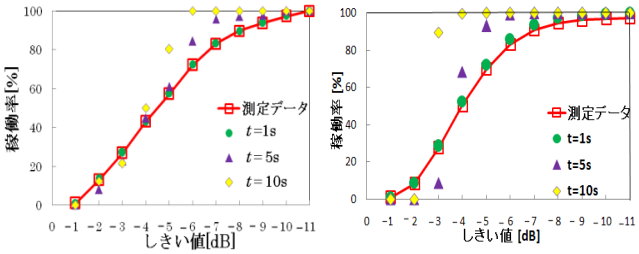



図 4. 稼働時間の構成

$$AT = AT1 + \frac{P_{rec}}{1 - P_{rec}}(REC + AT2) \cdots (1)$$

## 4. 評価法の検証

Ka 帯衛星 WINDS と Ku 帯衛星 JCSAT2A の継続時間 $t$ = 1, 5, 10 s とした状態遷移マトリクスから求めた稼働率と 1 秒間隔の時系列の測定データから求めた稼働率をしきい値毎に求め、図 5 に示す。ここで、晴天時の受信レベルを 0dB として、しきい値に対する稼働率を算出している。両衛星とも継続時間 1 秒の稼働率は測定データと良く一致している。また、継続時間を延ばすことでしきい値-4dB 以降の稼働率が上昇する結果が得られた。継続時間によっては送信電力の小さい小型衛星でもインターネットのような蓄積型の通信方式を用いれば稼働率が上昇することを定量的に示した。




(a) WINDS 衛星　　(b) JCSAT2A 衛星

図 5. 状態遷移マトリクスから求めた衛星の稼働率

## 5. まとめ

状態遷移マトリクスを用いた Ka 帯衛星 WINDS と Ku 帯衛星 JCSAT-2A の衛星稼働率評価を行った。状態遷移マトリクスから求めた t=1s の稼働率は両衛星とも測定データと一致した。また、継続時間 t を延ばした蓄積型通信では送信電力の小さい小型衛星でも稼働率が上昇することを定量的に明らかにした。

## 参考文献

[1] 武内良男, 高畑文雄: “デジタル衛星回線における不稼働率の推定法”, 信学論文誌, J71-B, pp. 640-649, 1988 年 5 月.