

離島における地域無線ネットワークの構築

升屋 正人[†] 青木 謙二[†] 久保田真一郎^{††}

[†] 鹿児島大学 学術情報基盤センター

〒 890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35

^{††} 熊本大学 総合情報基盤センター

〒 860-8555 熊本市黒髪 2-39-1

E-mail: †{masatom,aoki}@cc.kagoshima-u.ac.jp, ††kubota@cc.kumamoto-u.ac.jp

あらまし 小規模な離島や山間部など地理的条件が特に不利な地域においては、自治体や通信事業者によるブロードバンド整備が技術的には可能であるにもかかわらず主としてコストの点から困難な状況にある。本研究では中継回線、地域内回線の両方に IEEE802.11g に準拠した無線 LAN 機器を用いる整備モデルを提案するため、鹿児島県の離島において地域無線ネットワークの構築を行った。

キーワード ブロードバンド, 情報基盤整備, 情報格差, 無線 LAN, 離島

Development of Wireless Regional Area Network on an Isolate Island

Masato MASUYA[†], Kenji AOKI[†], and Shinichiro KUBOTA^{††}

[†] Computing and Communications Center, Kagoshima University

Korimoto 1-21-35, Kagoshima, 890-0065 Japan

^{††} Center for Multimedia and Information Technologies, Kumamoto University

Kurokami 2-39-1, Kumamoto, 860-8555 Japan

E-mail: †{masatom,aoki}@cc.kagoshima-u.ac.jp, ††kubota@cc.kumamoto-u.ac.jp

Abstract It is very difficult to develop broadband infrastructure in remote areas, such as, isolate islands and mountain regions. This is because the development is too expensive for local governments or telecommunications carriers, even though there are no technical difficulty. In this paper, we have suggested the lower cost *Community Broadband* model by development of Internet access line sharing using wireless LAN and wireless LAN regional area network in a remote isolate island in Kagoshima.

Key words Broadband, ICT infrastructure development, digital divide, wireless LAN, remote islands

1. ま え が き

光ファイバ, xDSL, CATV などにより実現される高速インターネット接続回線であるブロードバンドは、2007(平成 19)年 9 月末で全国の世帯の 95.7% (4,951 万世帯)において利用可能となった [1]。しかし、離島や山間部など地理的条件が不利な地域では未だサービスを利用できない世帯もある。加入世帯を多く見込めないこうした地域において通信事業者がブロードバンドサービスを提供する可能性は低い。このため自治体が主体となって整備を行うための方策の検討が進められてきた。技術的には条件不利地域においてもブロードバンド整備は難しくなく、費用(イニシャルコスト及びランニングコスト)が唯一かつ最大の問題となっている。

これまでの検討は中継回線に関わるものが多く、衛星インターネット回線や 18 GHz 帯無線アクセス装置、5 GHz 帯無線アクセス装置の実証実験を条件不利地域において行った例がある。しかし、費用の問題の解決に結びついた事例はあまり知られておらず、実現可能性の検証にとどまっている場合が多い。条件不利地域へのブロードバンド整備費用を具体的に検討した例としては、東京都小笠原村を対象にしたもの [2] や、鹿児島県十島村を対象としたもの [3] がある。全国を対象として離島におけるブロードバンド整備に必要な費用を机上検討した例としては総務省が平成 19 年 3 月に発表した「離島におけるブロードバンド化促進のための調査研究」[4] がある。この報告では、本土と島間の回線として光ファイバ, FWA, 衛星インターネットの 3 つを、島内の回線として FTTH, ADSL, 無線 LAN の 3 つ

を想定し、イニシャルコスト及びランニングコストを2006(平成18)年3月末時点でブロードバンドサービスが未提供の199の離島について検討し、ほとんどの離島について本土と島間は衛星インターネットが、島内はADSLが最も低コストであるとの結論を出している。

ところが、衛星インターネットには、高い周波数帯になるほど影響が大きい降雨による減衰や通信途絶、500ミリ秒以上の往復遅延による低い応答速度、往復遅延により十分なTCP帯域が確保できない、といった問題がある。このうち、帯域の確保についてはTCPウィンドウサイズの拡大などの機能を持ったTCPアクセラレータの導入によりある程度回避可能であることがわかっている[5]。しかし、降雨による減衰や通信途絶の問題は回避が難しい。さらに、往復遅延の問題は回避不可能であり、実時間で応答性能が求められるテレビ会議やIP電話に衛星インターネット回線を用いるのはそもそも難しい。また、ADSLによる島内回線の整備は、固定電話サービスを提供する通信事業者から設備を借り受けることが前提であり、通信事業者が設備を開放しない限り実現できない。費用を見ても、1島あたり数億円～数十億円のイニシャルコスト、全世界が加入しても1世帯あたりのランニングコストが5万円～30万円と、離島におけるブロードバンド整備に文献[4]の報告をそのまま適用するのは費用の点から困難である。

そこで本研究では、IEEE802.11g規格に準拠した無線LAN機器を中継回線、地域内回線ともに用い、これまで検討されてきたどの方法よりも低コストでのブロードバンド整備可能性を条件不利地域において実証的に示すことにした。技術適合証明認定を受けた市販製品のみを用いることで無線局免許の取得は不要であり、地域内回線については家電量販店でも販売されている安価な民生用機器を用いることで、整備および保守を地域住民自らが行うことができる。

2. 研究実施地域

本研究のモデル地域としては、鹿児島県十島村の離島である平島を選定した。平島(たいらじま)は周囲7.23km、面積2.08km²、鹿児島県十島村を構成する7つの有人離島の一つであり、集落内にある十島村平島出張所の位置は北緯29度41.215分、東経129度31.772分、鹿児島県本土と奄美大島のほぼ中間に位置している。2007(平成19)年6月末の人口は73名、世帯数は39世帯である。鹿児島港との間に村営船「フェリーとしま」が不定期就航しており、鹿児島港と平島南之浜港の間はおおよそ9時間(週2ないし3便)かかる。十島村は2008(平成20)年1月の時点でブロードバンド・ゼロ町村であり、7つの離島すべてにおいてブロードバンドサービスが提供されていない。

平島においてはISDNは提供されているものの提供数が限られており、常時接続サービスであるフレッツISDNは提供されていない。携帯電話はNTTドコモのPDCとFOMAが使用可能である。固定電話とISDNは悪石島から諏訪之瀬島を経由し

たルーラル無線システムで実現されており、アナログ回線による接続では条件がよい時で14.4kbpsが最大である。専用回線は通信事業者の設備が対応していないため利用できず、現在利用可能ないかなる無線システムを用いても、接続可能な距離にブロードバンドサービス提供地域が存在していないため無線システムによる中継回線の構築は難しい。このため、従来の考え方は衛星インターネットのみが中継回線の手段となる。また、島内の電話交換局は簡易な設備であるため電源容量および設置スペースが十分でなく、建物新築を伴うADSLによる島内回線の整備は多額の費用が必要であるため容易ではない。

3. IEEE802.11g無線LANによる中継回線の構築

平島に隣接する離島として、それぞれおよそ20km離れた位置に諏訪之瀬島と悪石島の2つの離島がある。このうち、悪石島は海底光ケーブルが陸揚げされており、ブロードバンドサービスは提供されていないものの、1.5Mbpsの専用線サービス(NTT西日本のデジタルアクセス1500)が提供されている。本研究では、鹿児島大学と悪石島を専用線で結び、この専用線を無線LANを介して平島から利用できるようにすることで中継回線を構築することにした。

しかし、悪石島と平島の地形による制約のため、これら2つの離島を無線LANで結ぶには鉄塔の新設が不可欠であり、本研究が目指す低コストでの整備が難しい。一方、悪石島-諏訪之瀬島間、諏訪之瀬島-平島間は、既存の建物および鉄塔を利用することで無線LAN設備の設置が可能であった。そこで、本研究では諏訪之瀬島を経由して悪石島と平島を結ぶことで、平島から悪石島の専用線を利用することにした。

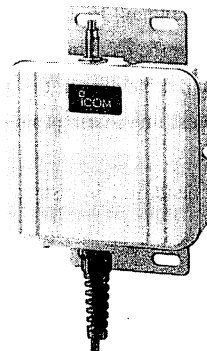


図1 アイコム SB-510EA.

悪石島の専用線契約箇所に専用線ルータを設置し、山上の無線中継所鉄塔まで2区間の無線LAN接続を八木アンテナを接続した市販の屋外用無線LANブリッジ(アイコム SB-510EA、図1)4台により行った(表1)。悪石島-諏訪之瀬島間はパラボラアンテナを接続した市販の屋外用無線LANブリッジ(アイコム SB-5100PA)を用いて接続し、諏訪之瀬島ではへき地集会所の屋上にアンテナを設置した(図2)。設置時に測定した範囲

表1 悪石島-諏訪之瀬島-平島を結ぶ無線 LAN 機器の設置場所、機種、アンテナ種類、距離と信号強度。信号強度は各装置において表示される値を記した。15 以上で安定して通信できるとされている。この値は距離だけではなく見通し範囲内の障害物の有無や干渉波の有無により変動する。

設置地点 設置機器 アンテナ	設置地点 設置機器 アンテナ	距離	受信電界強度
悪石島第1中継所 SB-510EA 八木	悪石島第2中継所 SB-510EA 八木	758 m	21 / 21
悪石島第2中継所 SB-510EA 八木	悪石島第3中継所 SB-510EA 八木	431 m	27 / 26
悪石島第3中継所 SB-5100PA パラボラ	諏訪之瀬島集会室 SB-5100PA パラボラ	18.8 km	14 / 17
諏訪之瀬島集会室 SB-5100PA パラボラ	平島鉄塔 SB-5100PA パラボラ	17.8 km	21 / 22
平島鉄塔 SB-510EA 八木	たいら荘 SB-510EA 八木	628 m	28 / 29

ではパケットロスはなく、悪石島-諏訪之瀬島間の帯域は 8.35 Mbps、諏訪之瀬島-平島間の帯域は 8.46Mbps と上流回線であるデジタルアクセス 1500 の最大帯域である 1.5 Mbps に比べ十分であることが確認された。

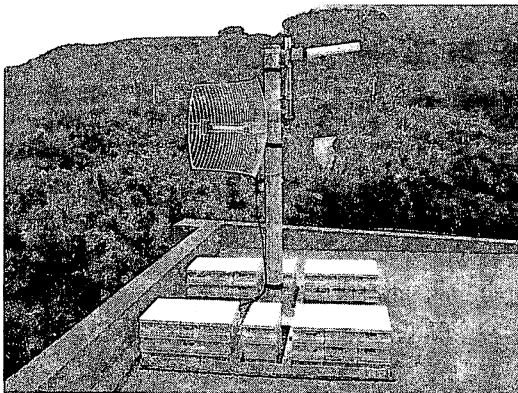


図2 諏訪之瀬島へき地集会室屋上に設置したパラボラアンテナ。この後、下部に平島向けのパラボラアンテナを共架した。

装置に表示される信号強度をみると、距離が遠くなればなるほど強度が低下する傾向にあることがわかる。区間ごとに設置環境や使用している機器、アンテナが異なるため単純な比較はできないが、いずれの区間においても無線 LAN 通信に必要な強度の確保ができています。使用した機器はメーカーによれば 10 km までしか通信できないとされている機器であったが、海上

区間という干渉波が存在しない区間であったため 18.8 km の通信が可能であったと考えられる。

専用線のもう一つの端である鹿児島大学はブロードバンドサービスが提供されている地域にあるため、ブロードバンドサービス(フレッツ光プレミアム)を契約し、専用線ルータに接続した。これにより、平島から無線 LAN と専用線を経由して、ブロードバンドサービスの利用が可能となった。平島-諏訪之瀬島、諏訪之瀬島-悪石島を結ぶ無線 LAN 区間については免許不要な市販製品を利用することで 5 GHz 帯や 18 GHz 帯の無線装置を用いる従来の検討に比べて安価に構築することができた。鉄塔の新設や海底ケーブルの敷設等も行っていない。鹿児島大学と悪石島を結ぶ専用線の月額利用料金が数十万円と高額であるという問題は残るが、複数世帯による共同負担や、地域イントラネットとしても自治体が利用して費用を負担することで、一世帯あたりの専用線区間のコストを低減することができるはずである。

4. IEEE802.11g 無線 LAN による地域ネットワークの構築

ADSL や光ファイバにより地域ネットワークを構築する場合、電話交換局等の拠点となる建物から各世帯にメタルケーブルや光ファイバを配線する必要がある。また、拠点となる建物には DSLAM などの集線装置を設置する必要がある。既設の電話回線用のメタルケーブルを利用した ADSL を実現することができれば配線コストが必要なく、電話交換局内に DSLAM 装置を導入するだけでよい。ところが、平島の電話交換局は小規模集落を対象とした特殊な設備であるため、設置スペースおよび電源容量が十分でなく DSLAM 装置を設置することができない。ADSL、光ファイバ、いずれの方法でも拠点となる建物の整備と各世帯への新規配線工事が必要となり、対象世帯数に対する整備費用が高額となる。また、FWA により地域ネットワークを構築する場合、電柱もしくは鉄塔の新設および各 FWA 装置を結ぶ配線工事が必要であるほか、台風被害を防止するための設備としなければならない。このため、通信事業者による整備はほぼ不可能な状況にあり、従来の方法では自治体が整備を行う場合にも多額の費用が必要であった。

そこで、本研究では、地域ネットワークの構築に IEEE802.11g に準拠した無線 LAN を用いることにした。無線 LAN により地域ネットワークの構築を行った例はほかにもある。たとえば鹿児島県山川町の地域イントラネット構築に際しては、屋外設置に対応した機器をブリッジ接続することで各拠点を結んでいる。しかし、屋外用の無線 LAN 装置は入手が容易ではなく、故障時には保守業者に修理を依頼せざるを得ない。平島のように本土から離れた離島では障害が発生した場合、復旧までに長い時間がかかってしまうばかりか、修理費用も大きくなってしまう。このことから、本研究では家電量販店で取り扱っている民生用機器を用いて地域ネットワークを構築することにした。

4.1 使用機器



図3 バッファロー WLA2-G54C.

用いた機器は、バッファロー WLA2-G54C(図3)である。本体は1万円以下で販売されている。この装置に5mの同軸ケーブルを用いて屋外用アンテナ(無指向または平面)を接続し、地域ネットワーク構築に利用した。本来屋外に設置することを想定していないこの装置を屋外に設置するため、PoE 受電装置と共に数百円で販売されている安価なプラスチックケースを代用した簡易ハウジングに収納した。これにより、屋内外の配線をLANケーブルのみとし、さらに簡易ハウジング単位の交換を可能として障害発生時の保守作業の簡素化を図った(図4)。通常は屋外ハウジングケースだけで数万円必要であるが、風雨を避ける目的であれば本研究で用いた簡易ハウジングでも支障がない。簡易ハウジングケースにはカメラ店などで容易かつ安価に入手できるカメラ用の防湿剤を封入することで、高湿度時にも機器への影響が小さくなるように配慮した。

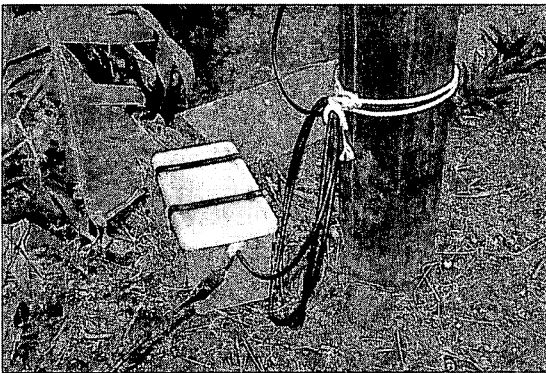


図4 簡易ハウジングによる無線 LAN アクセスポイントの屋外設置。

屋内設置用の機器であるため、夏期の高温時の影響が懸念されたものの、設置後1年以上を経過して高温が原因と考えられる故障は発生していない。設置から現在までの、自然災害による故障は豪雨時の雨水の浸入によるもの1件のみである。

4.2 ネットワーク構成

使用した機器バッファロー WLA2-G54Cは、ルータ機能のない無線LANアクセスポイントとして位置づけられている製品で、有線-無線ブリッジである。アイコム SB-510EA や SB-5100PA のように無線LAN間通信に用いられることを前提にした製品では無いが、WDSによるアクセスポイント間通信に対応しているため、無線LANによる機器同士の接続が可能である。このWDSを利用して地域ネットワークを構築することにした。

たとえば2区間を無線LANで接続する場合、無線ブリッジであれば4台の機器が必要であるが、WDSを用いれば3台でよい。機器点数を少なくできるため、整備コストを削減できることになる。ただし、WDSにより複数のアクセスポイントを接続した場合、経路するWDS区間の数に比例して利用可能な帯域が小さくなる。理想的環境での1区間の最大帯域を N Mbps とすると、2区間で $N/2$ Mbps、3区間で $N/3$ Mbps、... となる[7]。また、WDSを構成する無線LANアクセスポイントに無線LANクライアントを接続した場合は、区間が追加されることになる。このため、4台で構成されるWDSネットワークの端に無線LANクライアントを接続した場合、もう一方の端に有線接続した機器との間の帯域は $N/4$ Mbps となる。実際には複数の無線LANクライアントが接続する可能性があるほか、各WDS区間の距離によっては最大の帯域を確保できるとは限らない。そこで、余裕を見てWDS区間は4台3区間により構成することにした。理論的な両端の帯域は $N/3$ Mbps となる。 N を IEEE802.11g の最大の有効帯域である 27 Mbps とした場合、9 Mbps 確保できることになる。端に接続した無線LANクライアントが確保できる帯域は 4.5 Mbps となる。

機器および設置場所は、利用が想定される学校、診療所、出張所、商店、および3軒の民宿とし、それぞれが直接接続できない場合に、一般の世帯に設置することにした。最大3区間のWDSによりこれらを接続するため、島内に3つのWDSグループを構成した。無線LANチャンネル間の干渉を防ぐためには3つのチャンネルによる3つのWDSグループが最大となる。3つのWDSグループは、

- (1) 小中学校-世帯1*-大峰荘-出張所
- (2) 平和荘*-日高商店*-公民館*-出張所
- (3) 診療所裏-出張所*-たいら荘*-世帯2*

とした。*はアクセスポイント兼用、それ以外はWDS専用とした。各設置場所、アンテナの種類、距離、無線LANチャンネルを表2に示す。距離はGPSにより測定した北緯および東経を用いて算出した。

これらにより平島のほぼすべての世帯において無線または有線による接続が可能となった。小中学校内、平和荘内、大峰荘内、診療所表、たいら荘内にはそれぞれのWDSグループの無線LANアクセスポイントに有線LANで接続した無線LANアクセスポイントを置き、クライアント機器の接続を可能とした。また、世帯3には世帯2のアクセスポイントに無線LAN

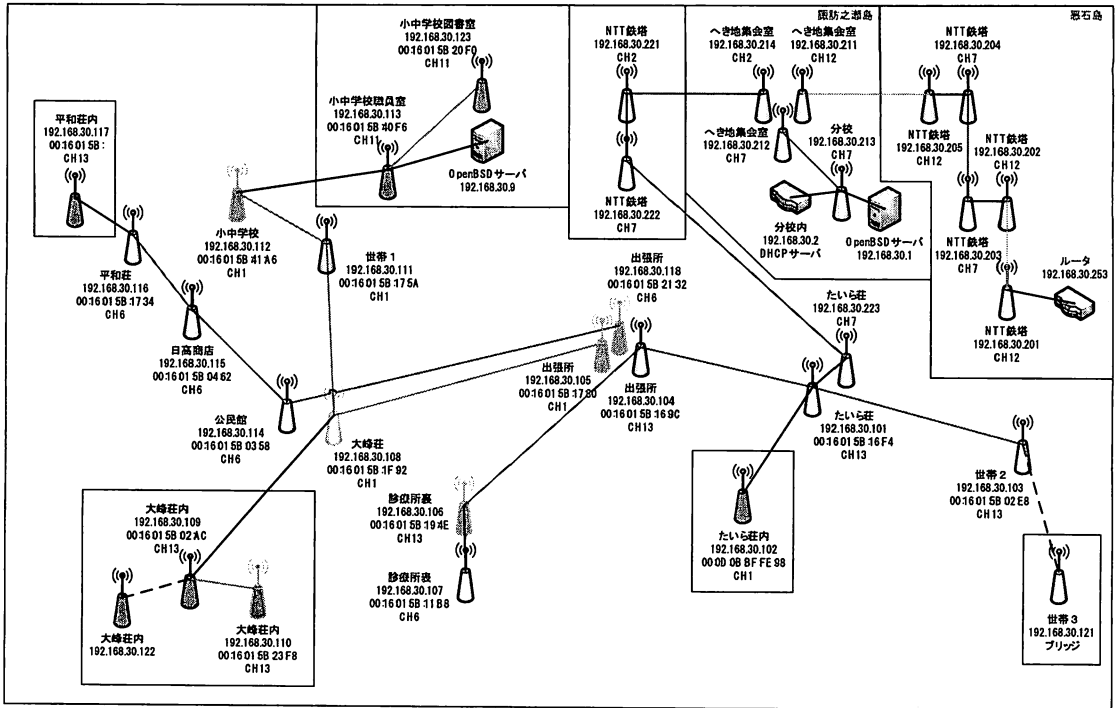


図5 ネットワーク構成図。

表2 平島内ネットワークを構成する無線 LAN 機器の設置場所、距離と無線 LAN チャンネル。

設置地点/アンテナ	設置地点/アンテナ	距離 (m)	チャンネル
世帯 2/無指向	たいら荘/無指向	129	
たいら荘/無指向	出張所/無指向	115	13
出張所/無指向	診療所裏/平面	135	(WDS)
出張所/平面	公民館/無指向	205	
公民館/無指向	日高商店/無指向	88	6
日高商店/無指向	平和荘/無指向	49	(WDS)
出張所/平面	大峰荘/無指向	179	
大峰荘/無指向	世帯 1/無指向	92	1
世帯 1/無指向	小中学校/無指向	58	(WDS)

で接続する USB 接続タイプの無線 LAN アダプタを設置しているほか、大峰荘内、学校内では 1 区間の WDS 接続による無線 LAN エリアの拡大を図っている。中継回線も含めた全体のネットワーク構成を図 5 に示す。

4.3 電界強度に基づく可用性の確認

屋外の任意の 30 か所において、NTT アドバンステクノロジー AP²Checker を用いて、電界強度、最適 PHY レート、推定スループット、FER を測定した。図 6 に電界強度と最適 PHY の関係を示す。この結果から電界強度が -65 dBm 以上であれば 54 Mbps、-75 dBm 以上であれば 27 Mbps 以上の PHY レートでの通信が可能であることがわかる。また電界強度 -80 dBm であっても 12 Mbps の PHY レートでの通信が可能であることが明らかとなった。屋外であれば島内の全世帯において -80 dBm 以上

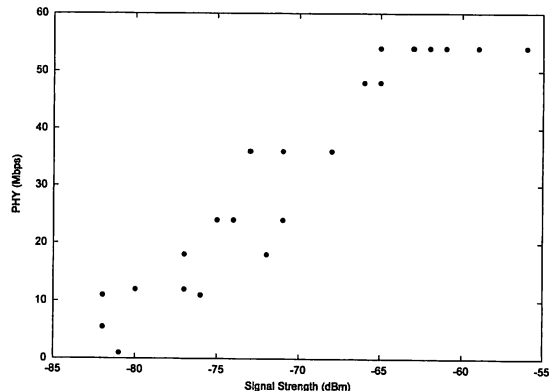


図6 電界強度と最適 PHY レート。

の電界強度を確保できているため、島内全世帯の接続が可能であるといえる。

電界強度と推定スループットの関係を図 7 に示す。電界強度が大きな場合スループットも大きい傾向にあるが、その相関は必ずしも高くない。スループットに影響しているのは図 8 に示す FER(Frame Error Rate) である。FER は無線パケットのエラー率を示す値であり、無線 LAN 通信の品質が低い時にはスループットも低下する傾向にあることがわかる。

4.4 ping による島内ネットワークの安定度評価

WDS による島内ネットワークの安定度を評価するため、小

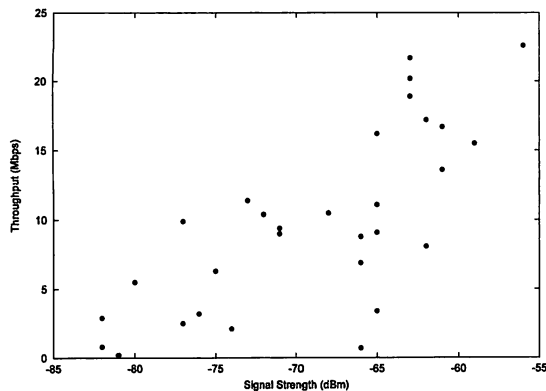


図7 電界強度と推定スループット.

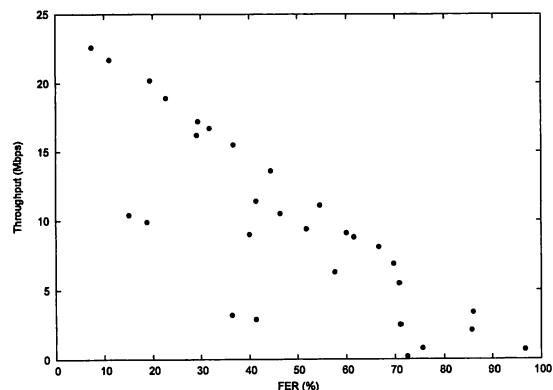


図8 FERと推定スループット.

中学校に設置した OpenBSD 4.0 サーバから各無線 LAN アクセスポイントに ping を 1 秒おきに 60 回実行し、中央値を求めた結果を表 3 に示す。

表 3 小中学校に設置したサーバとの 60 回の ping 測定結果.

設置場所	RTT(ミリ秒)	パケットロス (%)	WDS グループ
小中学校	0.7225	0	1
世帯 1	1.4335	0	1
大峰荘	3.0235	0	1
出張所	4.525	0	1
出張所	4.831	0	2
公民館	6.201	3.3	2
日高商店	9.252	35.0	2
平和荘	19.577	0	2
出張所	4.372	0	3
診療所裏	5.657	0	3
たいら荘	5.9065	0	3
世帯 2	7.1345	0	3

日高商店と平和荘間のパケットロスが大きく RTT の値が大きくなっている。また、公民館と日高商店間にもパケットロス

が見られる。これらの区間の距離は比較的短いものの、アンテナ間に樹木や建物が存在しており見通しが確保できないことが原因と考えられる。別の時間帯に測定を行うとパケットロスがさらに大きくなる場合と小さくなる場合の両方があり、この区間の通信は安定していない。見通しが確保できる位置にアンテナを移動することにより改善が可能であるが、アンテナを設置可能な建物、電柱等の確保が問題となる。

ちなみに、悪石島に設置した専用線ルータに対して同様の測定を行うとパケットロスは 0%、RTT の中央値は 13.445 ミリ秒であり中継回線は安定している。

5. まとめ

鹿児島県十島村の平島において、IEEE802.11g に準拠した無線 LAN 機器を用いて中継回線および地域ネットワークを構築し、低コストでのブロードバンド整備を実現した。基幹 WDS ネットワークを構成する拠点あたりのインシヤルコストは 3 万円程度であり、本モデルを適用することで多くの条件不利地域を低コストでブロードバンド化できることを示した。

謝 辞

本研究は総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の委託研究として行われた。研究の実施に協力していただいた、鹿児島県十島村平島、諏訪之瀬島、悪石島をはじめとした研究実施地域の住民の皆さん、十島村役場・三島村役場の皆さんに心より感謝の意を表したい。また、機器の設置にあたり NTT 西日本鹿児島支店には特別の配慮をいただいている。本研究全般への協力と併せて深謝したい。

文 献

- [1] 総務省, ブロードバンドの整備状況 (平成 19 年 9 月末), <http://www.soumu.go.jp/joho.tsusin/broadband/broadbandstrategy/seibi.pdf>, 2007.
- [2] 総務省関東総合通信局, 「小笠原地域におけるブロードバンド化促進に関する検討会」報告書, <http://www.kanto-bt.go.jp/stats/data/chosa/chosa18/index.html>, 2007.
- [3] 総務省九州総合通信局, 十島村におけるブロードバンド化促進のための調査研究報告書, 2007.
- [4] 総務省情報通信政策局地域通信振興課, 離島におけるブロードバンド化促進のための調査研究, <http://www.soumu.go.jp/joho.tsusin/policyreports/chousa/chihou.kasseika.ubi-net/pdf/070423.2.si5-3.pdf>, 2007.
- [5] 大山翔, 升屋正人, 外海離島における衛星インターネット回線品質の評価, 情報科学技術レターズ (Information Technology Letters), Vol. 5, pp. 341-342, 2006.
- [6] 升屋正人, 条件不利地域におけるコミュニティ・ブロードバンドの整備, 電子情報通信学会技術報告, vol. 107, no. 19, CQ2007-10, pp. 55-60, 2007.
- [7] 久保田真一郎, 宝崎洋一郎, 升屋正人, 小規模離島における島内 LAN 構築と WDS トポロジカルモデルによる評価, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 107, no. 19, CQ2007-10, pp. 37-41, 2007.