

トカラ皆既日食7島中継プロジェクト

Internet Streaming of Total Solar Eclipse in 2009 at Tokara Islands

升屋 正人*, 相羽 俊生*, 下園 幸一*

Masato MASUYA*, Shunsei AIBA* and Koichi SHIMOZONO*

鹿児島大学 学術情報基盤センター*

Computing and Communications Center, Kagoshima University*

トカラ列島の7つの離島（口之島、中之島、平島、諏訪之瀬島、悪石島、小宝島、宝島）は2009年7月22日、いずれも長時間の皆既日食が観測でき、その好条件から全世界から注目されていた。一方、この地域では鹿児島大学学術情報基盤センターが条件不利地域におけるブロードバンドの整備に関する研究を実施している。十島村により整備が進行中の地域イントラネット網と相互に補完的役割を果たすことにより、皆既日食時点ですべての有人離島でブロードバンド級の回線が利用可能となった。本プロジェクトでは、これらの回線を活用して7つの有人離島から皆既日食映像を鹿児島大学学術情報基盤センターに中継し、鹿児島大学学術情報基盤センターから全世界に向けてストリーミング配信を行った。各島における中継機材は小中学校の教員が操作したほか、小中学校生徒による各島を紹介する映像を事前に配信するなどして、条件不利地域からの情報発信モデルを示した。

キーワード：皆既日食，離島，ブロードバンド，動画像配信，ブログ

1. はじめに

日本国内の陸上では46年ぶりとなる皆既日食が2009年7月22日に観測された¹⁾。国内で陸上観測できたのは鹿児島県の薩南諸島の一部と東京都の小笠原諸島の一部である。中でも鹿児島県十島村を構成するトカラ（吐噶喇）列島の7つの有人離島（口之島、中之島、平島、諏訪之瀬島、悪石島、小宝島、宝島）は、皆既日食を長時間にわたり観測できるため条件がよいとされた。しかし、これらの有人離島はいずれも本土から遠く離れており、交通手段及び宿泊施設が十分でない。このため7島全体で1,000名程度に観測者を制限する必要があった。

一方、トカラ列島では通信事業者によるブロードバンド接続サービスは提供されていない。しかし、鹿児島大学学術情報基盤センターの研究用通信回線と十島村の地域イントラネット網を補完的に用いることで、トカラ列島の7島すべてでブロードバンド級の通信回線の利用

が可能であった。

そこで、鹿児島大学学術情報基盤センターと十島村は連携し、トカラ列島での皆既日食を全世界にインターネット中継することにした。これにより各島を訪問できなかった観測者を始め、多くのインターネット利用者に皆既日食映像を提供できる。また、各島にも映像を中継して当日天候不良であった場合に別の島の皆既日食の様子を視聴することを可能にした。さらに、トカラ列島を広く周知するため皆既日食に先んじて各島の紹介などの情報発信を行い、条件不利地域におけるブロードバンド情報通信基盤の活用モデルを提示することにした。

1.1 全世界が注目したトカラ皆既日食

日食は月がちょうど太陽と地球の間に位置し、月によって太陽が隠されるために起こる天文現象である。月と地球の距離が大きい場合は月の視直径が小さくなるため太陽が全て隠されず月の外側に太陽がはみ出して光輪上に見える金環日食となる。一方、距離が小さい場合には

*〒 890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35
1-21-35, Korimoto, Kagoshima 890-0065
E-mail: {masatom, aiba, simozono}@cc.kagoshima-u.ac.jp

太陽が全部隠され皆既日食となる。コロナを観測できるのは皆既日食の場合のみであり、昼間に暗くなる神秘的な現象であることもあって、日食の中でも皆既日食がより注目される。日食は毎年1～2回、地球上のどこかで起こっているが、多くが部分日食で金環日食や皆既日食となるのは数年に一度である。日食を観測できるのは月が地球に影を作る帯状の地域に限定されており、日本国内で皆既日食を観測できる機会は少ない。

日本国内の陸上で観測できるものとしては1963年7月21日以来46年ぶりとなる皆既日食が2009年7月22日にあった。次回国内で観測可能となるのは26年後の2035年9月2日である。全国で部分日食を観測できたが、皆既日食を観測できる陸地は鹿児島県薩南諸島の種子島の一部、屋久島、口之永良部島、トカラ列島、喜界島、奄美大島の一部、及び東京都小笠原諸島の硫黄島と北硫黄島に限られていた。皆既日食が観測できる地域である皆既帯の中心線はトカラ列島の諏訪之瀬島と悪石島との間の海域を通るため、皆既帯の中心線に最も近い悪石島では6分25秒に渡って皆既日食が継続した。これは今世紀に起こる皆既日食の中では最長の継続時間であり、このことから、今回の皆既日食は100年に1度の好条件であると言われ、全世界から注目された。

トカラ列島の7つの島では島内の全域で皆既日食を観測でき、好条件の悪石島、諏訪之瀬島以外の5島、口之島、中之島、平島、小宝島、宝島においても皆既日食が長時間継続するため、トカラ列島での観測希望者は数千人以上と予想された。しかし、トカラ列島への交通手段は定員が200名程度の村営船フェリーとしまを除けば、漁船等をチャーターするしかない。宿泊施設は各島に民宿が3～5軒と、多くの観測者を受け入れることは難しい。このため、十島村は近畿日本ツーリストと共同して皆既日食観測ツアーを主催し、およそ1,000名のツアー参加者以外の観測者の入島を原則として禁止した。

1.2 トカラ列島のブロードバンド情報通信基盤

離島を始めとした地理的条件が不利な地域においては、ブロードバンド・ゼロ地域の解消が進んでいない。これは、地域までの中継回線の確保が困難であるという問題と、地域内のアクセス回線の整備が容易ではないという2つの問題に起因している。しかし、いずれも技術的には問題はない。前者は海底光ケーブルを敷設すればよく、後者は施設や配線を整備するだけでよい。最大の問題はその費用である。

この問題の解決を目指し、升屋ら²⁾⁻⁷⁾は地域住民が主体となり低コストで整備可能なブロードバンド情報通信基盤を「コミュニティ・ブロードバンド」と称し、条件不利地域にブロードバンド情報通信基盤を整備するための研究開発を行っている(図1)。

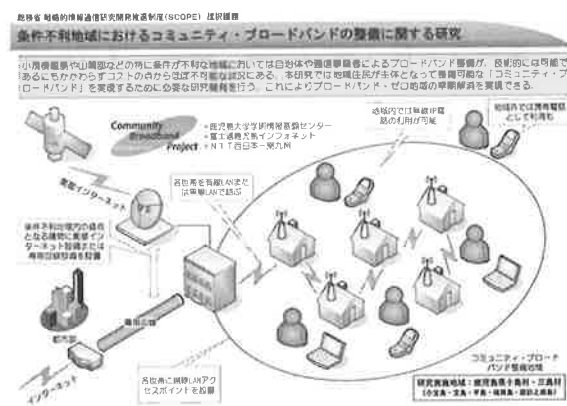


図1 コミュニティ・ブロードバンドの概要図

トカラ列島では平島、諏訪之瀬島、小宝島、宝島において実証的な研究を行っており、表1に示す通り、島によって異なる中継回線とアクセス回線の組み合わせを用いている。

これらのうち、平島と諏訪之瀬島では中継回線として複数の無線LAN装置を用いて悪石島に接続しており、悪石島において専用線の中継回線に用いている。

悪石島内の山上の無線中継所鉄塔までの2区間と平島内の1区間は、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)を用いて接続し、悪石島-諏訪之瀬島間と諏訪之瀬島-平島間はパラボラアン

表1 トカラ列島においてコミュニティ・ブロードバンド研究に用いている通信回線。

島名	中継回線	主なアクセス回線
平島	無線 LAN	無線 LAN
諏訪之瀬島	無線 LAN	VDSL
小宝島	衛星	無線 LAN
宝島	専用線	無線 LAN

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) を用いて接続した (表2)。いずれの接続も 2.4GHz 帯を用いる IEEE802.11g により行っている。諏訪之瀬島ではへき地集会室の屋上にアンテナを設置している (図2)。設置時の測定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 8.46 Mbps であった。

表2 悪石島-諏訪之瀬島-平島を結ぶ無線 LAN 機器の設置場所と距離。

設置地点		距離
悪石島第1中継所	悪石島第2中継所	758 m
悪石島第2中継所	悪石島第3中継所	431 m
悪石島第3中継所	諏訪之瀬島集会室	18.8 km
諏訪之瀬島集会室	平島鉄塔	17.8 km
平島鉄塔	たいら荘	628m

平島ではアクセス回線にも無線 LAN を用いている (表3)。基幹ネットワークは、チャンネル1を用いる小中学校-世帯1-大峰荘-出張所, チャンネル6を用いる平和荘-日高商店-公民館-出張所, チャンネル13を用いる診療所裏-出張所-たいら荘-世帯2の3つの WDS グループにより構成されている。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を実現した。

一方、十島村では、2008年度と2009年度に国の地域イントラネット整備事業の採択を受け地域イントラネット網の整備が進んでいる。これは、各島の役場出張所、小中学校、公民館、診療所などの公共施設を鹿児島市内にある十島村役場と専用線で結ぶものである。中之島、悪



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。

石島、宝島では、NTT西日本による専用サービスであるメガデータネットが提供されており、鹿児島市内に位置する十島村役場との間の中継回線に用いられている。これら3島には主として電話サービス提供のため、本土と奄美大島を結ぶ海底ケーブルが陸揚げされており、以前からデジタルアクセス1500の利用が可能であった。メガデータネットは2009年よりサービスの提供が開始された。これら以外の口之島、平島、諏訪之瀬島、小宝島は18GHz帯無線アク

表3 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。機器はすべて BUFFALO WLA2-G54C。

設置地点		距離 (m)	チャンネル
世帯2	たいら荘	129	13
たいら荘	出張所	114	
出張所	診療所裏	130	
出張所	公民館	206	6
公民館	日高商店	76	
日高商店	平和荘	54	
出張所	大峰荘	180	1
大峰荘	世帯1	92	
世帯1	小中学校	59	

セス装置と 5GHz 帯無線アクセス装置を併用して、口之島は中之島，平島と諏訪之瀬島は悪石島，小宝島は宝島と接続し，これら 3 島を経由して役場に接続することになっている。島内の公共施設間のアクセス回線は自設の光ファイバで接続し，各施設にレイヤ 2 スイッチが設置されている。2009 年 7 月時点では中之島，悪石島，小宝島，宝島への整備が完了しており，これら 4 島の公共施設ではブロードバンド級の通信回線を利用できた。口之島，平島，諏訪之瀬島は未整備であったが，平島と諏訪之瀬島はコミュニティ・ブロードバンドの研究用回線で悪石島と結ばれている。十島村地域イントラネット網と相互に接続することで，これら 2 島でもブロードバンド級の回線を利用できることになる。

また，残る 1 島，口之島では総務省の支援を受け実施している「鹿児島県の離島における衛星利用防災情報通知システムの実用性評価」に関する研究のため，鹿児島大学学術情報基盤センターが JSAT の衛星インターネット回線を設置していた。これらを用いることで，トカラ列島の 7 島すべてにおいて皆既日食時にブロードバンド級の回線を利用できることになった（表 4）。

表 4 皆既日食時のトカラ列島のブロードバンド級回線。

島名	回線の種類
口之島	衛星インターネット
中之島	十島村イントラネット
平島	コミュニティ・ブロードバンド
諏訪之瀬島	コミュニティ・ブロードバンド
悪石島	十島村イントラネット
小宝島	十島村イントラネット
宝島	十島村イントラネット

2. 回線構成

本研究では，トカラ列島の 7 島のほか，鹿児島大学学術情報基盤センターと十島村役場を拠点として通信回線を構築した。以下，各拠点における通信回線の詳細について述べる。

鹿児島大学学術情報基盤センター

インターネット公開用の Web サーバーおよびストリーミングサーバーを接続するためのグローバルネットワーク（163.209.19.0/24，ネットワーク A），ストリーミングサーバーとエンコーダーを接続するためのプライベートネットワーク（192.168.1.0/24，ネットワーク B），各島と結ぶためのプライベートネットワーク（192.168.30.0/24，ネットワーク C）を用意した。ネットワーク A は鹿児島大学のキャンパス情報ネットワークの装置に 1Gbps で接続しており，鹿児島大学は学術情報ネットワークと 1Gbps で接続している。ネットワーク B は室内に閉じたネットワークで 100Mbps のスイッチングハブを用いた。ネットワーク C は十島村役場を経由して各島まで延びるレイヤ 2 ネットワークである。鹿児島大学-十島村役場間は NTT 西日本のワイド LAN プラスを用いて 100Mbps で接続した。

十島村役場

十島村役場では，ネットワーク C を鹿児島大学に延長するためのワイド LAN プラス回線に加えて，ネットワーク C のインターネット接続回線としてフレッツ光プレミアム回線を用意した。また，中之島，悪石島，小宝島，宝島と結ばれている十島村地域イントラネット内に専用の VLAN を設定し，ワイド LAN プラス回線とフレッツ光プレミアムの LAN 側を 100Mbps で接続した。

十島村地域イントラネット網は十島村の行政関連業務に利用されている。セキュリティを考慮して，既存のネットワークとは論理的に独立した VLAN を設定した。各島との通信帯域は共有することになるが，相互の通信は論理的に分離されており，セキュリティ上のリスクは無い。

口之島

口之島は他の島とは異なり，JSAT の衛星インターネット回線を用いた。衛星通信は横浜にある JSAT の親局と行われ，そこでインターネットに接続している。このため，口之島からはインターネットを介して鹿児島大学に接続した。衛星回線のインターネット向け TCP 帯域はお

よそ7Mbps程度であるが、これはTCPアクセラレータによる見かけの帯域で、往復遅延時間を考慮した理論的TCP帯域はおよそ800kbps以下である。また、UDP帯域は実測値で最大1.5Mbps程度である⁸⁾。衛星インターネット回線は観測地点である小中学校に設置し、25GHz帯無線アクセス装置を用いて出張所まで回線を延長した。

中之島

中之島は十島村地域イントラネット網が整備され、十島村役場とメガデータネッツで接続している。観測地点の候補とした、小中学校、歴史民族資料館、天文台に設置の地域イントラネット網のレイヤ2スイッチに専用VLANを設定し、ネットワークCを延長した。小中学校では2台に1ポートずつ設定した。

十島村地域イントラネット網の通信帯域は公表されていないが、機器設置時に実測したところおよそ7Mbpsであった。悪石島、宝島、小宝島も同程度の通信帯域であると思われる。この帯域は行政関連業務にも使用されるほか、中之島においては十島村が協力する他の皆既日食中継プロジェクトとの共有となり、本研究で占有したわけではない。また、メガデータネッツは契約した最低帯域保証を超える帯域についてはベストエフォート型のサービスである。他組織と帯域を分け合う場合もあり、実際にどの程度帯域を確保できるかは明確ではない。

平島

コミュニティ・ブロードバンドの中継回線が諏訪之瀬島を経由して悪石島と無線LANで接続し、悪石島で地域イントラネット網内の専用VLANに接続してネットワークCを構成している。観測地点である小中学校と中継回線の無線LAN装置は、コミュニティ・ブロードバンドの平島アクセス回線を用いてレイヤ2で接続し、ネットワークCを小中学校まで延長した。島内のアクセス回線がWDSによる無線LANで構成されており、小中学校と中継回線の無線LAN装置の間に多くの無線LAN装置が存在することから、小中学校における上流向けの通信帯域は十分でなく、最大でおよそ1.5Mbpsで

ある。

諏訪之瀬島

コミュニティ・ブロードバンドの中継回線が悪石島と無線LANで接続し、悪石島で地域イントラネット網内の専用VLANに接続してネットワークCを構成している。無線LAN装置が設置されているへき地集会室から小中学校校舎までLANケーブルでネットワークCを延長してスイッチングハブを接続した。上流向けの通信帯域は最大でおよそ4Mbpsであるが、平島とこの帯域を共有することになる。また、悪石島からの上流回線(およそ7Mbps)は、悪石島、諏訪之瀬島、平島の3島で共有することになる。

悪石島

悪石島は十島村地域イントラネット網が整備され、十島村役場とメガデータネッツで接続している。小中学校に設置の地域イントラネット網のレイヤ2スイッチの2台に1ポートずつ専用VLANを設定し、ネットワークCを延長した。また、地域イントラネット網の機器を収容している設備であるBB-BOX内のレイヤ2スイッチにも専用VLANを設定し、諏訪之瀬島及び平島と無線LANにより接続しているコミュニティ・ブロードバンド網を接続した。

小宝島

小宝島は十島村地域イントラネット網が整備されている。宝島と18GHz帯及び5GHz帯の無線アクセス装置で接続し、宝島経由で十島村役場とメガデータネッツで接続している。小中学校に設置の地域イントラネット網のレイヤ2スイッチの2台に1ポートずつ専用VLANを設定し、ネットワークCを延長した。

宝島

宝島は十島村地域イントラネット網が整備され、十島村役場とメガデータネッツで接続している。観測地点の候補とした、小中学校、コミュニティセンター、診療所の地域イントラネット網のレイヤ2スイッチに専用VLANを設定し、ネットワークCを延長した。小中学校では2台に1ポートずつ設定した。

バックアップ回線

鹿児島大学と学術情報ネットワークの接続部が帯域不足になることを想定し、固定IPアドレスのFTTH回線(BBIQ)を用意した。また、十島村役場に設置したネットワークCのインターネット接続回線についても鹿児島大学側の機器の接続を可能とした。

3. トカラ皆既日食7島中継プロジェクト

条件不利地域におけるブロードバンド情報通信基盤の整備に際しては、整備後の利活用についても考える必要がある。これはコミュニティ・ブロードバンド及び十島村地域イントラネットに共通する課題であった。コミュニティ・ブロードバンドでは、できるだけ多くの地域住民の参画が必要となる。このためには、具体的な利用形態を示して住民の参加を促すことが有効である。十島村地域イントラネットにおいては、有効に活用していることを広く内外に示す必要があるほか、将来にわたって有効に活用していかなければならない。そこで、われわれは、全世界から注目される皆既日食を絶好の機会ととらえ、十島村と連携して、ブロードバンド利活用のモデルを示すことにした。

3.1 プロジェクトのWebサイト

プロジェクトは、皆既日食当日にトカラ列島の7島すべてから太陽の映像を中継することを中心としつつ、トカラ列島からの情報発信を行うものとし、プロジェクトのWebサイトを皆既日食一ヶ月前の2009年6月22日に開設した(<http://eclipse.cc.kagoshima-u.ac.jp/>)。用いたサーバーはDELL PowerEdgeT100、CPUはPentium Dual-Core E2180 2.0GHz、メモリは1GBで、オペレーティングシステムにはopen-SUSE 11.1 (32bit)を使用した。WebサイトはWordPressを用いたブログ形式のものとし、コメントを許可することでWebサイト訪問者とのコミュニケーションを図った。ブログの記事

表5 配信したトカラ豆知識。*は動画付き。

日付	記事タイトル
7.01	「トカラ」の漢字表記
7.02	トカラ旅行に持って行った方がいいもの
7.06	フェリーとしまの見所*
7.07	空き缶、空きビン、ペットボトル
7.08	船酔いを防ぐ方法
7.10	トカラクワガタ
7.12	あいさつ
7.14	トカラを知るには
7.15	国境の島
7.16	トカラハブとウミヘビ
7.17	刻を忘れさせる島
7.19	トカラの動物たち
7.20	フェリーとしま、皆既日食前最後の鹿児島出港*

として、皆既日食に関する情報提供や、トカラ列島に関する情報提供をほぼ毎日掲載した。トカラ列島に関する情報は「トカラ豆知識」として、7月1日から20日までの間に13記事を配信した(表5)。掲載した記事の総数は45件であり、これらの記事に対して101件のコメントが投稿された。

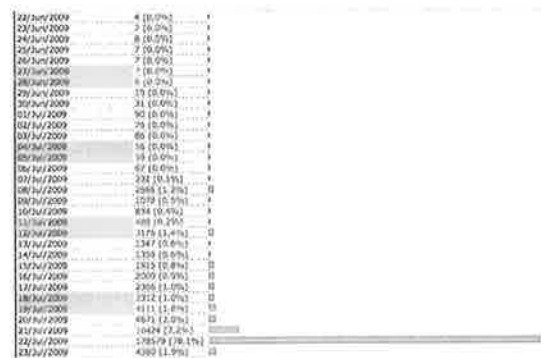


図3 Webサイトの日別アクセス数。Visitors Web Log Analyzerを用いて生成した。同日内の同一IPアドレスからのアクセスは1件としてカウント。

2009年6月22日から7月23日までのWebサイトの日別アクセス数を図3に示す。この期間のユニークアクセス数の合計は228,577件であった。皆既日食当日に向けて増加傾向で推移していたが、前日に16,424件、当日は178,579件のアクセスとなった。前日のアクセス数からその2倍程度の3万件程度を予想したが、それ

を大きく上回るアクセス数となった。WebサイトのURLについては、大学からのニュースリリースや新聞テレビなどの報道により周知はされていたが、当日のアクセスはその多くが著名なサイトに皆既日食を中継するサイトとしてリンクが掲載されたことによるものであった。本Webサイトを含め皆既日食中継をインターネットで行ったほとんどのサイトがアクセス集中によりつながりにくい状況に陥っていたため、他のサイトを閲覧できなかったための訪問者もいたものと思われる。

3.2 各島を紹介する動画の配信

皆既日食に先立ち、トカラ列島に関する動画を配信した。動画は各島の小中学校の生徒が出演やナレーション、教員が撮影や編集を行って作成し、一部の編集作業と形式変換をわれわれが行った。変換した動画はYouTubeにアップロードし⁹⁾、YouTube上の各動画へのリンクをWebサイトに掲載した(図4)。



図4 YouTube動画へのリンクのページ。皆既日食映像配信と同じレイアウトとした。

各島の動画の2009年11月20日までの再生回数は表6の通りである。テレビ報道で注目を集めた悪石島の動画の再生回数が突出しており、報道の影響が大きかったことがわかる。口之島の再生回数が多いのは、一覧の先頭に掲載されているためと思われる。諏訪之瀬島の動画はNHKの特ダネ!投稿DO画で紹介されたが、番組での扱いは大きくなかったため、再生回数

表6 各島紹介動画の再生回数。

島名	回数
口之島	745
中之島	472
平島	417
諏訪之瀬島	644
悪石島	1,322
小宝島	648
宝島	598
合計	4,846

には影響していないものと思う。

各島の紹介以外にも、Webサイトの記事に連動した動画をYouTubeにアップロードし、Webサイト内にリンクを設けており、2009年11月20日までの間に、フェリーとしまの口之島港入港動画は1,579回、最後の出港動画は3,009回再生された。

3.3 各島の現在の様子の配信

各島の小中学校に、ネットワークカメラ(パナソニックKX-HCM180)を設置し、口之島以外ではネットワークCに接続した。口之島では機器にグローバルアドレスを付与した。これらのカメラでは、学校からの風景を10分おきに160×120ピクセルの静止画として撮影し、Webサーバー(<http://eclipse.cc.kagoshima-u.ac.jp/>)にFTPで伝送して、Webサイトの1ページとして配信した(図5)。



図5 各島の現在の様子のページ。10分おきに更新した。

この静止画の伝送は皆既日食までの回線状況の確認も兼ねており、現在の様子のページを頻繁に閲覧した。映像が更新されていない場合は何らかの障害の発生が考えられる。実際にこのページの閲覧により複数回の障害を検知して対応した。

4. 皆既日食映像のインターネット配信

日本国内での皆既日食映像の中継はNHKと民放4局による悪石島からのテレビ中継のほか、以下のような企画が実施された。一部のテレビ局は洋上や宝島、奄美大島等からの中継も行った。

- インターネットに配信
 - トカラ皆既日食7島中継プロジェクト（本プロジェクト）
 - SYNAPSE 2009 トカラ皆既日食中継プロジェクト*
 - LIVE! ECLIPSE 2009*
 - Yahoo! JAPAN-7月22日皆既日食映像生中継！（NHK・ライブ！ユニバース*等が協力）
 - UG Live 2 皆既日食 2009 ライブ中継配信（SYNAPSE 2009 トカラ皆既日食中継プロジェクト*の一部）
 - 皆既日食2009-ウェザーニュース（SO-LiVE24で生中継）
 - 日食 LIVE in 小笠原-ニコニコ衛星生中継（アカウント登録必要）
- ネットワーク中継だがインターネットには非公開
 - 硫黄島皆既日食中継（日本科学未来館で視聴可。その他の視聴には事前の相談が必要）
 - NICT 皆既日食 Web ストリーミング配信（視聴には会場に出向くか、申込みが必要）

- 奄美皆既日食中継（ダイエー店舗でのみ視聴可能）

これらのうち、*印を付した「SYNAPSE 2009 トカラ皆既日食中継プロジェクト」と「LIVE! ECLIPSE 2009」は本プロジェクトと連携して実施されたもので、映像中継に用いる通信回線の一部の手配及び設定を本プロジェクトが担当した。われわれは国内の皆既日食インターネット中継のほとんどに関わっていたことになる。

本プロジェクトは、インターネットで誰でも視聴可能な皆既日食中継の代表的な一つと見なされ、NHKの全国ニュース及びローカルニュースを始め多数の新聞、Webメディアで報道された。

4.1 映像伝送システム

本プロジェクトで映像伝送に用いたのは富士通 IP-700IIj である。この機器は MPEG-2 と MPEG-4 のエンコード及びデコード機能を有しており、2台1組で使用することで映像の伝送ができる。双方向伝送も可能であるが、本プロジェクトでは各島から鹿児島大学に向けた片方向伝送のみを行った。

各島にエンコーダーとして動作するよう設定した IP-700IIj を設置し、口之島以外ではネットワークCに接続した。口之島ではグローバルアドレスを付与して、インターネットを介して映像の伝送を行うことにした。デコーダーとして動作するよう設定した IP-700IIj は鹿児島大学に設置した（図6）。合計で14台の IP-700IIj を稼働させたが、予備機も4台準備して障害に備えた。当日までの間に、鹿児島大学に設置した1台を不調により予備機と交換している。

エンコーダーの設定は以下の通りとした。

- 中之島・悪石島・小宝島・宝島

MPEG-2 1400kbps CBR Half D1

MPEG-2 としては最も低帯域の設定である。さらに広帯域の設定でも伝送可能であったが、通信の安定性を重視して MPEG-2 伝送可能な中で最低の帯域を選択した。

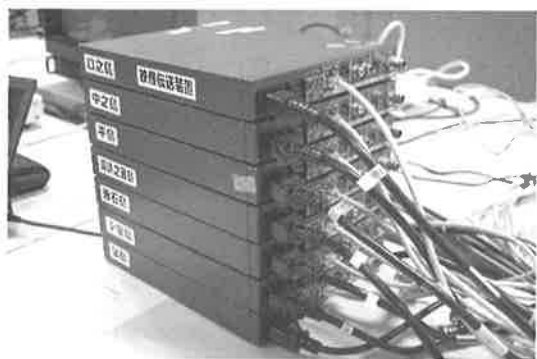


図6 鹿児島大学に集約したIP-700IIj (デコーダー)。

- 口之島・諏訪之瀬島

MPEG-4 332kbps VBR SIF

衛星インターネット回線の実質的な最大帯域は800kbpsであること、諏訪之瀬島の上流回線は平島、悪石島と共有かつ海上長距離無線LANは有線や近距離の無線LANに比べて不安定であることから、この設定を選択した。

- 平島

MPEG-4 232kbps VBR SIF

平島の上流回線は諏訪之瀬島、悪石島と共有かつ、海上長距離無線LANは有線や近距離の無線LANに比べて不安定であること、さらに島内も無線LANであり十分な帯域を安定して確保することが困難であることから、この設定を選択した。これを下回る帯域では明らかに映像品質が悪く、IP-700IIjを用いた映像伝送における実質的な最低帯域であると考えられる。

IP-700IIjでデコードした各島からの映像は、コンポジット信号として9画面マルチプレクサ(ELMO VC90F)に入力し画面合成を行った。9画面のうち、7画面に各島からの映像を、左下の1画面にPCで作成した画面レイアウトの説明をダウンコンバーターを介して入力し、右下の1画面に時計を表示させた。右下の1画面は皆既日食当日には鹿児島大学で撮影した部分日食映像の配信にも利用した。

4.2 各島における機材の操作

各島におけるビデオカメラ及び映像伝送機器の設置と操作は各島の小中学校教員が担当した。ビデオカメラと三脚は学校が保有しているものを利用することにし、太陽観測フィルタ(アストロソーラーセーフティーフィルム)と赤道儀(アイベルCD-1)を映像伝送装置(IP-700IIj)や接続ケーブルとともに、各学校に持参して操作方法の説明を行った。操作において最も難しいのは赤道儀を正しく北に向けることであるが、各学校においてそれぞれ工夫して設置していただいた。

皆既日食前日の2009年7月21日の9:30から12:30まで行った映像中継のリハーサルでは、ビデオカメラの調整を経て、7島すべてから太陽の映像を長時間にわたって安定して中継することに成功した。当日は天候も穏やかで晴れており、中継時間中の各島と鹿児島大学を結ぶ回線も安定していた。

4.3 映像のエンコードと配信

マルチプレクサ(ELMO VC90F)からの出力信号をWindows Mediaエンコーダー装置(View-Cast Niagara Go Stream SURF)に入力して、Windows Media形式へのエンコードを行った。Windows Mediaエンコーダー装置はネットワークBに接続し、他の通信の影響が無い状態でWindows Mediaサーバーに接続した。Windows Mediaエンコード装置では、複数のストリーミングを事前に設定できるため、表7に示す4通りの設定を事前に用意した。Windows MediaサーバーはWindows Mediaエンコーダーからの映像を再配信するため、Windows Mediaエンコーダーの設定を変更することで、配信映像の帯域を制御できることになる。

Windows Media配信サーバーとして用いたサーバーは富士通PRIMERGY TX150、CPUはQuad-Core Xeon X3320 2.5GHz、メモリは8GBで、オペレーティングシステムにはWindows Server 2008 (64bit)を使用した。また、Windows Mediaエンコーダー装置からの映像を配信する

表7 Windows Media エンコーダーの設定.

設定名	解像度	ビットレート
L	640x480	CBR 1024Kbps
M	640x480	CBR 512Kbps
S	320x240	CBR 256Kbps
SS	160x120	CBR 128Kbps

ため, Windows Media Services 2008 を導入, 設定した. ストリーミング配信の URL は `mms://mango.cc.kagoshima-u.ac.jp/eclipse` としたが, これは直接公開せず Web サイトに ASX ファイルを置いてその中で指定した.

5. 皆既日食当日のアクセス状況

皆既日食当日は天候不良によりトカラ列島の7島すべてで皆既日食の太陽を撮影することはできず, 実際の中継は各島の様子が主となった.

5.1 Web サーバーの状況

皆既日食当日の2009年7月22日は, 9:30 から映像配信を予定していた. しかし, 9:00 頃から Web サイトへのアクセスが集中し, Web サーバーの負荷が上昇してつながりにくい状況となった. これは著名な Web サイトにサイト内部のページへのディープリンクが掲載されているためと考えられた. 外部サイトからストリーミング配信を案内するページへの直接アクセスの件数は当日の全アクセスの40%を占めている.

Web サーバーの負荷を軽減するため, Web サイトを単一のHTMLのみとして, ストリーミングを視聴するための ASX ファイルへのリンクのみを掲載する措置を執った. これにより Web サーバーの負荷は下がった. しかし, 9:30 にストリーミングが開始されると鹿児島大学全体が帯域不足に陥り, Web サーバーにつながりにくい状況は継続した.

そこで, 別に用意した Web サーバーと学外のホスティングサービスによる Web サイトにも ASX ファイルを設置し, 短縮 URL サービス

`bit.ly`¹⁰⁾ を利用して URL を案内した. ASX ファイルはいずれも同じストリーミングポイントを示すものである. ASX ファイルを設置した場所とそれぞれの URL, 短縮 URL 及びアクセス数は以下の通りである. ASX ファイルへのアクセス数合計は 86,555 件であった.

- <http://eclipse.cc.kagoshima-u.ac.jp/tokara.asx>

URL を公開し 16,693 アクセス. 短縮 URL (<http://bit.ly/tokara> および <http://bit.ly/Bwn5a>) も公開 (計 9,981 アクセス)

- <http://163.209.19.100/tokara.asx>
URL は非公開. 短縮 URL (<http://bit.ly/jmQR>) のみ公開 (21,096 アクセス)
- <http://biocomputing.cc/tokara.asx>
URL は非公開. 短縮 URL (<http://bit.ly/Tgzem>) のみ公開 (38,785 アクセス)

Web サーバーの時間帯別アクセス数を図7に示す. 鹿児島大学の流回線が飽和したため, 実際にアクセスを試みた数はさらに多かったものと考えられる.



図7 2009年7月22日のWebサイトの時間帯アクセス数. Visitors Web Log Analyzer を用いて生成した. 同日内の同一IPアドレスからのアクセスは1件としてカウント.

5.2 ストリーミングサーバーの状況

ストリーミング配信は2009年7月22日の9:30より開始した. 当初は解像度 640x480, ビットレート CBR 512Kbps (設定 L) の設定で配

信を行ったが、配信開始後まもなく鹿児島大学の上流回線が飽和し、鹿児島大学全体がアクセスできない状況に陥った。このとき、ストリーミングサーバーの負荷は高くなく、ネットワーク帯域にも余裕があった。アクセスしづらい原因は上流回線の帯域不足と思われる。

できるだけ多くに映像を提供するため、一時的に解像度 160x120、ビットレート CBR 128Kbps (設定 SS) に設定を変更したが、解像度が低すぎて各島からの映像を十分に視認できないと思われたため、解像度 320x240、ビットレート CBR 256Kbps (設定 S) とした。以後、配信終了までこの設定を維持した。

ストリーミングサーバーのログを解析したところ、2009年7月22日の08:38から12:45までの間に40,283件のアクセスがあり、うちユニークIPは13,734件であった。少なくとも13,734クライアントには映像を配信できたものと思われる。また、大企業のゲートウェイ装置と思われるプロキシ経由のアクセスも見られた。実際に映像を視聴したのはより多かったものと思う。

6. まとめ

本プロジェクトはその活動を注目され多くの報道が行われた。その影響もあって、皆既日食は大量のアクセスによりつながりにくい状況となった。Webサーバー自体は単一Webページにするなどして回避、ストリーミングサーバーは余力を残していたが、鹿児島大学の上流回線が飽和するという対処が困難な自体に陥った。インターネット配信を実施していたほとんどのサイトがつながりにくい状況になったようである。国内のインフラ自体に多くが注目するイベントの映像配信を収容する容量を未だ有していないとも言える。

当日のトカラ列島は天候が不良で皆既日食時の太陽の映像は中継できなかった。しかし、鹿児島市内の部分日食の映像を中継できたほか、日食の終了間際には、口之島、中之島、平島において雲の切れ間から見える欠けた太陽の撮影に成功し、鹿児島市と合わせて日食時の太陽映

像の4元中継は実現できた。また、前日までのWebサイトにおける情報提供とコミュニケーションは、当初の予定通り順調に行うことができ、条件不利地域からの情報発信の手法を示すことができたものと考えている。

謝辞

本プロジェクトは総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の委託研究の一部であるとともに、その成果を活用したものである。プロジェクトを共同して実施した十島村からは全面的な支援を受けたが、特に中継機材の設定及び操作を担当していただいた7島の小中学校の教員の皆さん、紹介ビデオを作成していただいた子どもたちには心より感謝の意を表したい。また、機器の貸与等にご配慮いただいた、富士通、パナソニックシステムソリューションズ、NTT西日本鹿児島支店の皆様にはプロジェクト全般への協力と併せて深謝したい。

参考文献

- (1) Fred Espenak and Jay Anderson: "Total Solar Eclipse of 2009 July 22", NASA Eclipse Bulletin NASA/TP-2008-214169, <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEpubs/20090722/TP214169a.pdf> (2008-3).
- (2) 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, pp. 37-41 (2007).
- (3) 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研究報告, Vol. 107, No. 19, pp. 55-60 (2007).
- (4) 久保田真一郎, 下園幸一, 升屋正人: "薩摩硫黄島における無線ブロードバンド環境の整備とその通信安定性評価", 電子情報通

信学会技術研究報告, Vol. 107, No. 463, pp. 61-65 (2008).

- (5) 升屋正人：“離島におけるブロードバンドの整備”，電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 107, No. 463, pp. 67-72 (2008).
- (6) 升屋正人, 青木謙二, 久保田真一郎：“離島における地域無線ネットワークの構築”，情報処理学会研究報告, Vol. 2008, No. 37, pp. 13-18 (2008).
- (7) コミュニティ・ブロードバンドプロジェクト：<http://bbzero.jp/>
- (8) 大山翔, 升屋正人：“外界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, Vol. 5, pp. 341-342 (2006).
- (9) トカラ皆既日食7島中継プロジェクトチャンネル：<http://www.youtube.com/masatomasuya>
- (10) bit.ly：<http://bit.ly/>

(2009年12月02日原稿受付)
(2010年01月13日採録決定)

著者略歴



升屋 正人 1991年東京大学理学部卒業，1996年同大学院農学生命科学研究科博士課程修了，同年4月岡崎国立共同研究機構分子科学研究所非常勤研究員，1997年11月鹿児島大学工学部情報工学科助手，2000年4月総合情報処理センター助教授，2003年4月学術情報基盤センター助教授，2006年11月学術情報基盤センター教授。博士（農学）。2001年4月から2003年1月まで学長補佐，2003年4月から2007年3月まで学術情報基盤センター副センター長，2008年4月から2009年3月まで学術情報基盤センター長。2005年6月及び2009年6月九州総合通信局長「情報通信月間」表彰。

相羽 俊生 2002年鹿児島大学理学部卒業，2004年同大学院理工学研究科博士前期課程修了，民間企業勤務を経て2008年より鹿児島大学学術情報部職員（学術情報基盤センター兼務）。修士（理学）。



下園 幸一 1991年九州大学工学部情報工学科卒業，1993年同大学院工学研究科情報工学専攻修了，同年4月九州大学情報処理教育センター助手，1998年2月鹿児島大学法文学部経済情報学科講師，2000年4月同助教授，2007年7月同大学学術情報基盤センター准教授。修士（工学）。