

LE2005a の概要とマドリッドからの高速回線による高画質映像伝送

山本 文治[†] 中村 一彦^{††} 尾久土 正己[‡]

[†]株式会社インターネットイニシアティブ 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 1-105

^{††}情報通信研究機構 〒105-0014 東京都港区芝 2-31-19

[‡]和歌山大学 〒640-8510 和歌山市栄谷 930

E-mail: [†] bunji@ij.ad.jp, ^{††} kazuhiko@nict.go.jp, [‡] okyudo@center.wakayama-u.ac.jp

あらまし 天文に関する様々な現象をネットワークを通じて紹介する団体「ライブ！ユニバース」は、2005年10月3日にマドリッドで観測された金環日食の模様をインターネットを通じて生中継した。本稿では中継の全体概要とともに、マドリッドから日本に向けて実施したIPによる高画質映像伝送システムの構成とその運用について報告する。

キーワード インターネット中継, 高画質映像伝送

The Efforts of High-quality video transmission trial with Broadband Research IP Network from Madrid at LE2005a

Bunji YAMAMOTO[†] Kazuhiko NAKAMURA^{††} and Masami OKYUDO[‡]

[†] Internet Initiative Japan Inc. 1-105 Kanda Jinbo-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0051 Japan

^{††} National Institute of Information and Communications Technology 2-31-19 Shiba, Minato-ku, Tokyo, 105-0014 Japan

[‡] Wakayama University 930 Sakaedani, Wakayama, 640-8510 Japan

E-mail: [†] bunji@ij.ad.jp, ^{††} kazuhiko@nict.go.jp, [‡] okyudo@center.wakayama-u.ac.jp

Abstract LIVE! UNIVERSE has been webcasting various astronomical phenomena to world wide users. We also webcasted an annular solar eclipse which observed in Madrid on October 3, 2005. In this paper, we report the outline of the project and efforts of high-quality video transmission trial with broadband research IP network from Madrid to Japan.

Keyword Internet webcasting, High-quality video transmission

1. はじめに

2005年10月3日、イベリア半島から北部～中央アフリカにかけて金環日食が観測された[1]。日食とは月が太陽を覆い隠す現象であるが、月が太陽より見かけ上小さい場合に金環日食となる。今回の日食では太陽直径の約96%が月によって隠され、金環の中心線はポルトガル、スペイン、アルジェリア、チュニジア、リビア、チャド、スーダン、エチオピア、ケニア、ソマリアを横切った。スペインの首都マドリッドでは4分11秒と比較的長い間金環が持続した。金環日食が観測された地帯を図1に示す。

ライブ！ユニバース[2]ではマドリッドへ観測隊を派遣し、日食の模様をインターネット中継した。この

プロジェクトは「LIVE! ECLIPSE 2005 Annular(以下、LE2005aと記す)[3]」と名づけられ、おおよそ百人程度の天文およびネットワークに関わるスタッフが加わり実施された。その活動の一環として、筆者らはマドリッドのネットワーク的な地の利を活かし、高速回線を用いた観測拠点からの高画質映像伝送に挑戦した。本論文では、この実験システムの全体概要と得られた結果に関して報告する。

2. ライブ！ユニバースとその中継手法

ライブ！ユニバースは2002年に設立された非営利団体であり、1997年から継続して活動していたライブ！エクリプス実行委員会等の活動を受け継いでいる。

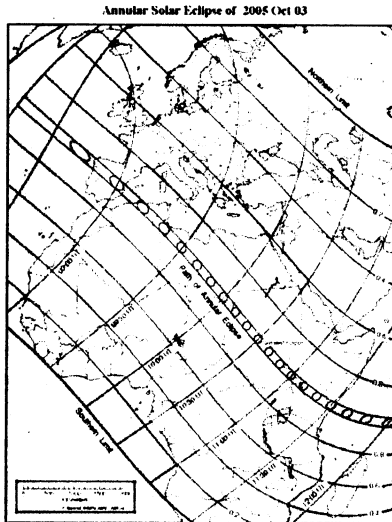


図1 2005年10月3日に観測された日食の経路
 (<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/SEmono/ASE2005/ASE2005fig/ASE2005map2b.GIF>による)

会の目的は天文および宇宙科学などに関する様々な現象やイベントを、ネットワークを通じて広く世界に紹介し、社会に貢献することである。2003年11月24日の南極皆既日食中継を一例として、今回の日食中継を含めて十回の中継プロジェクトを企画・運営している。

これまでの中継プロジェクトにおいて、観測地点の選択は主に「日食の中心線に入っていること」「当日の気象条件がよいこと」という観点から検討されてきた。特に前者の要因は大きく、これを満たさねば日食中継の意義が薄れてしまう。こういう観点から選択された地点は、確率的にも人口密集地に位置することが少なくなる。したがってほとんどの場合観測地点には安定した高速回線が整備されていない。実際に近年で人口密集地を通過した例では1999年8月11日の欧州・中近東皆既日食があり、次回は2009年7月22日の中国・太平洋皆既日食における上海となり、頻度は低い。

中継の手法は図2に示すように、衛星携帯電話を用いたダイヤルアップネットワークに、低帯域に対応した映像CODECを組み合わせる形を取っている。

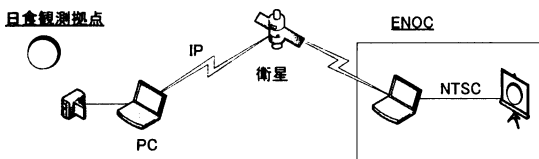


図2 これまでの日食映像伝送システム

ライブ！ユニバースの皆既・金環日食中継における観測拠点と回線形式、回線帯域を表1に示す。

表1 これまでの観測拠点と中継回線

日時	観測拠点	回線形式	回線帯域
2002/06/11	中之島, テニアン, メキシコ	Inmarsat M4	64kbps
	葛飾	ISDN	64kbps
	ソウル	既設 IP 線	不明
2002/12/04	ボツワナ	Inmarsat M4	64kbps
	オーストラリア	衛星映像中継	MPEG2 6Mbps
2003/05/31	アイスランド	Inmarsat M4	64kbps
	ヘルシンキ	既設 IP 線	不明
2003/11/24	南極	Inmarsat B	64kbps
2005/04/09	パナマ	ADSL	不明

この方式の利点は、衛星携帯電話のカバレッジがあれば地球上どこからでも中継が可能となることである。筆者らは多くの場合 Inmarsat 社の M4 サービスを用いている。このサービスは一回線あたり最大 64kbps の帯域を持ち、ISDN 回線に接続することができる。両端の装置に ISDN ルータを接続することで、IP による通信を確立することができる。

映像 CODEC には RealNetworks 社が開発した RealVideo を採用している。いわゆるナローバンド時代から使われ続けている方式であり、低帯域における表現力が他の CODEC に比べて優れている。但しシステムがインターネット配信用に設計されているため、バッファリングの時間が長くリアルタイム性に欠けるといった問題点がある。

実際には観測地点のエンコーダから日本側のサーバまで一次配信し、そこからストリームを受信し、PC のビデオ出力端子から映像信号を取り出している。映像信号を取り出すのは、日本において番組を編集する、複数のストリーム方式で再送信するといったオペレーションを実施しているからである。例えば RealVideo のライブストリームから Windows Media Video のライブストリームへ直接トランスコードする方法は存在しない。したがって一度 NTSC などの映像信号を取り出し、そこから再度エンコードする必要がある。このように国内にはネットワークオペレーションと併せて映像オペレーションのための拠点を設置している。筆者らはこれを Encoding and Network Operations Center (以下 ENOC と記す) と呼称している。

この方式では、次のようなことが課題となっていた。

- 高画質映像をリアルタイムに送出できない
- 複数映像の同時配信が困難
- 観測拠点とのインタラクションが困難

- 精細な静止画データの同時配信が困難
しかし日食中継の多くの場所で高速回線が確保できなかったため、これらへの取り組みはできずにいた。

3. 高速回線による高画質映像伝送

日食の模様を表現し、伝達する手法は多彩である。筆者らは理想的な日食中継の伝送システムは次のような機能を持ち、図3のような構成となると考えた。

1. 高画質映像の伝送
 - 高画質で映像を伝送すると、コロナやダイヤモンドリングなどの現象をより詳細に渡って伝えることができる。またインターネット配信用低速用 CODEC へトランスコードする際の画質の低下も防ぐことができる。
2. 複数映像の伝送
 - 太陽の全体像だけでなく欠けていく模様の拡大像や、照度の変化により薄暗くなっていく街並みといった風景像も、日食という現象を仮想体験する上では重要である。
3. インタラクティブ性を持った伝送
 - 配送遅延を短くすることで観測拠点と ENOC とのやりとりを実現する。
4. 映像以外のデータ配信
 - 静止画や、気温や照度などといった観測データを送ることで日食の総合的な現象を解説できる。すでに微速度撮影からムービーを作成するシステム[4]が実験されている。

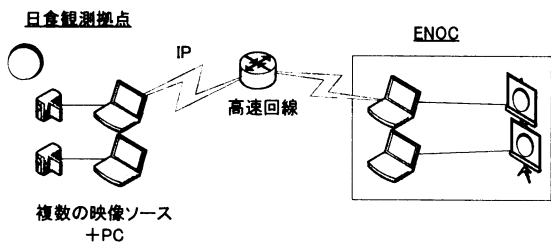


図3 理想的な日食映像伝送システム

これらを実現するためには、観測拠点から ENOC に到達するまでの回線を高速化することが必須となる。

2005年10月3日の金環日食では図1に示す様にスペインの首都であるマドリッド市内を中心線が横切っている。筆者らはこれに着目し、高速回線を有するマドリッド市内の協力者を募り、LE2005aにおいて以下の実験を実施することとした。

1. 複数本の高画質映像伝送

2. 番組中での観測拠点とスタジオとのやりとり
3. 全天周撮影システムの設置

3.1. 観測拠点からの高速回線

これらの実験にあたり、RedIRIS[5]の協力を受けることができた。RedIRISはスペイン国内の学術研究ネットワークであり、マドリッド市内にNOCを持っている。そこで筆者らはRedIRISからENOCに至るまでの回線利用計画を立てた。そのルートを図4に示す。

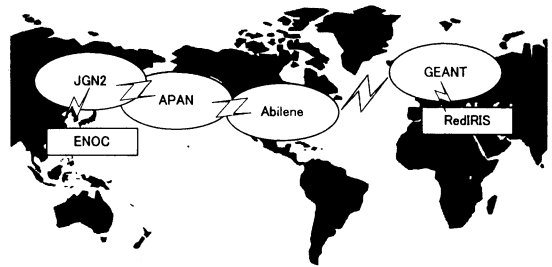


図4 RedIRISよりENOCまでの計画ルート

このように各国・各地域の国際学術研究ネットワークであるGÉANT[6]、Abilene[7]、APAN[8]、JGN2[9]を結び、ENOCまでの通信回線を確立した。これらのネットワークはほとんどが1Gbps以上の速度で相互接続されている。アプリケーションはIPv4およびIPv6両方の機能が装備されていたため、どちらにも対応できるようにコーディネーションを実施した。

3.2. 複数本の高画質映像伝送

伝送システムにはDV over IPおよびHDV over IPの二形式を採用し、それぞれの役割分担を図り複数映像を伝送することを決めた。アプリケーションにはDVTS[10]、Ruff Systems[11]およびRobst[12]を利用することとした。

DVTSはWIDEプロジェクトが開発したDV over IPアプリケーションである。今回はWindows版DVTSを利用した。

Ruff Systems（以下Ruffと略す）は東京エレクトロン株式会社と通信総合研究所（現・情報通信研究機構、以下NICTと略す）の共同開発によるアプリケーションである。DVの他にも非圧縮HDやD1などを扱うことができる。今回はWindows版にてHDVを伝送した。

Robstは広島大学が開発したアプリケーションで、MPEG2やDVなどを扱うことができる。今回はLinux版を用いHDVを伝送した。

これらのシステムを図5および表2に示す。

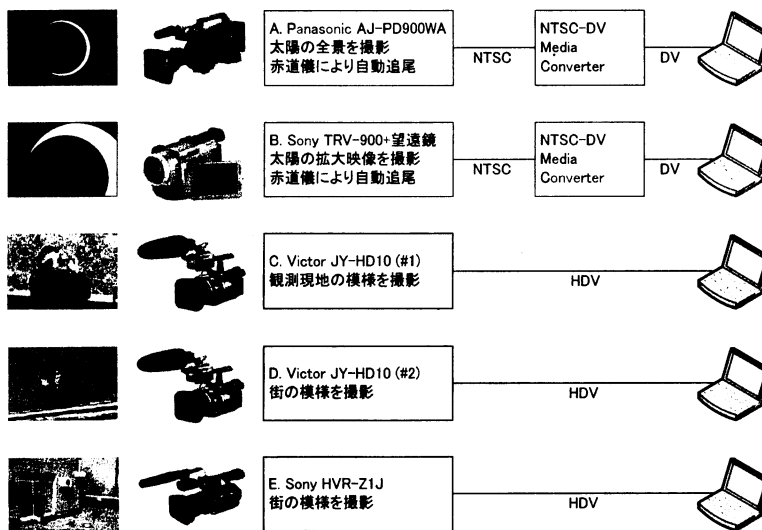


図 5 高画質映像伝送システム

表 2 日食中継システムの詳細

No.	撮影対象	CODEC	アプリ	レート
A	太陽全体像	DV	DVTS	30Mbps
B	太陽接写像	DV	DVTS	30Mbps
C	観測拠点の模様	HDV (720p)	Ruff	21Mbps
D	街の模様	HDV (720p)	Ruff	21Mbps
E	街の模様	HDV (1080i)	Robst	30Mbps

3.3. 観測拠点とスタジオとのやりとり

LE2005a では ENOC に隣接してスタジオを仮設し、番組を作成することとなった。マドリッドから送られた映像をスタジオで受けて解説を加えていく番組スタイルを取ったが、スタジオからマドリッドへ呼びかけを行って、観測拠点からのレポートも実施された。

観測拠点では Cカメラにリポーター用のマイクを組み合わせて伝送することにしたが、バックアップとして VoIP ソフトウェアである Skype を用意した。また観測拠点における番組のモニタ用として、DVTS を用いてスタジオからのプログラムアウト映像をマドリッドへ送信した。

3.4. 全天周撮影システムの設置

日食は太陽を月が隠すことによって、その地域が月の影に入る現象である。現地の空や周囲は次第に暗くなっていくが、太陽の拡大映像の中継だけではその様子を伝えることができなかつた。今回は現地の様子を臨場感豊かに表現するために、プラネタリウムのドーム天井に、現地の空をほぼリアルタイムに投影した。投影実験は和歌山県教育委員会の協力を得て、学びの

丘のプラネタリウムにて実施した。

システムは、撮影、加工、サーバ、投影の 4 つからなる。撮影は、魚眼レンズをつけた一眼レフのデジタルカメラで行い、カメラの制御とデータの取得は、USB で接続された PC で行った。

撮影されたデータは、投影するデジタル式プラネタリウム（コニカ・ミノルタ製メディアグローブ）の投影フォーマットにその場で変換した。変換されたデータを国内に用意したサーバまで IPv4 を用い scp で転送した。撮影間隔は 30 秒 1 枚で、その間に加工、転送を行った。

プラネタリウム側では、デジタルプラネタリウム用に開発した投影ソフトが、30 秒に 1 枚のペースでサーバにアクセスし、ドームに投影される画像を更新した。

4. マドリッドからの高画質映像伝送

観測拠点は RedIRIS の協力のもと、RedIRIS のベランダおよび屋上に設置するとともに、建物内の一室をオペレーションルームとして利用した。ここから日本の ENOC である NICT 小金井本部へ複数の映像配信を行った。

当初は帯域の細い回線を経由するという事態も発生したが、BGP4、BGP4+を用いた経路調整によって最適化を図り、最終的には希望した経路を通過するようになった。中継当日の観測拠点から ENOC までの IPv4 および IPv6 の経路を表 3 および表 4 に、観測拠点オペレーションルームの模様を写真 1、ENOC の模様を写真 2 に、それぞれ示す。

表 3 IPv4 の経路

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	130.206.0.254
2	<1 ms	<1 ms	<1 ms	rediris.es1.es.geant.net [62.40.103.61]
3	20 ms	20 ms	19 ms	es.frl.fr.geant.net [62.40.96.10]
4	26 ms	26 ms	26 ms	fr.uk1.uk.geant.net [62.40.96.90]
5	95 ms	95 ms	95 ms	uk.nyl.ny.geant.net [62.40.96.169]
6	95 ms	95 ms	95 ms	62.40.105.26
7	117 ms	115 ms	115 ms	chicrl-oc192-aoacrl.es.net [134.55.209.57]
8	163 ms	163 ms	163 ms	snvcr1-oc192-chicrl.es.net [134.55.209.53]
9	163 ms	163 ms	163 ms	abilene-pos-snvcr1.es.net [198.129.248.85]
10	171 ms	180 ms	171 ms	losang-snvang.abilene.ucaid.edu [198.32.8.94]
11	171 ms	171 ms	171 ms	transpac-1-lo-jmb-702.lsanca.pacificwave.net [207.231.240.136]
12	285 ms	284 ms	293 ms	tokyo-losa-oc192.transpac2.net [192.203.116.146]
13	287 ms	301 ms	307 ms	tpr4-10gi0-1-0.jp.apan.net [203.181.248.109]
14	285 ms	285 ms	285 ms	202.180.34.157
15	286 ms	286 ms	286 ms	202.180.34.250

表 4 IPv6 の経路

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	2001:720:404::1
2	<1 ms	39 ms	14 ms	rediris.es1.es.geant.net [2001:798:2015:10aa::9]
3	23 ms	23 ms	23 ms	es.it1.it.geant.net [2001:798:20cc:1501:2001::2]
4	32 ms	32 ms	32 ms	it.de2.de.geant.net [2001:798:20cc:1402:2001::1]
5	126 ms	125 ms	125 ms	abilene-gw.de2.de.geant.net [2001:798:2014:20aa::2]
6	141 ms	141 ms	141 ms	atlang-washng.abilene.ucaid.edu [2001:468:ff:118::1]
7	170 ms	161 ms	161 ms	hstnng-atlang.abilene.ucaid.edu [2001:468:ff:e11::2]
8	182 ms	182 ms	182 ms	losang-hstnng.abilene.ucaid.edu [2001:468:ff:1114::2]
9	182 ms	182 ms	182 ms	transpac-1-lo-jmb-702.lsanca.pacificwave.net [2001:504:b:20::136]
10	295 ms	295 ms	295 ms	3ffe:8140:101:1::2
11	299 ms	315 ms	316 ms	3ffe:8140:101:1e::4
12	295 ms	295 ms	296 ms	2001:e38:0:120::1
13	297 ms	296 ms	297 ms	2001:e38:2030:0:220::1

4.1. 高画質映像伝送の結果

高画質映像伝送の帯域は合計で約 132Mbps に達した。観測拠点から ENOC までの高画質映像伝送には全て IPv6 ユニキャスト(UDP)が用いられた。

DVTS については非常に安定して伝送を実施することができた。ENOC 側でモニタした結果では、パケットロスほぼ 0 だった。またスタジオ側でも気になるような品質の劣化は特に観測されず、主観的な評価も良好であった。また準備期間中試験的に IPv4 でも伝送を実施してみたが、結果はやはり同様であった。これは今回利用した国際学術研究ネットワークの内部および相互接続部分での伝送状態が良好であり、IPv4 および IPv6 の品質がアプリケーションにとって十分であることを示している。

しかし Ruff および Robst では必ずしも良好な結果は得られず、画面にノイズが載るなどの現象が現れた。

両者に共通して、準備期間中は良好な結果が得られたが、本番当日には期待していた品質は得られなかった。特に日食が観測された時間帯のデータロスが多く、伝送回線上に日食などに起因する高トラヒックの発生など何らかのトラブルが発生していたことが想定される。

したがって DVTS と Ruff, Robst の間での品質に差が発生したことになる。以下に考えられる理由を述べる。

1. DV カメラと HDV カメラで撮影していた映像の特性が異なったため。
2. DV と HDV の CODEC 特性の差異が現れたため、いずれにせよ推測の域を出ないため、今後の継続的な検討が必要とされる。

日本国内での再配信として Ruff ではプラネタリウム、CATV 局や大学へ、Robst でも地上波テレビ局や大学等への再配信が行われた。DVTS は ENOC に隣接したスタジオへの素材伝送用としてのみ用いられた。



写真1 観測拠点オペレーションルームの様相



写真2 ENOCの様相

4.2. 観測拠点とスタジオとのやりとりの結果

カメラにマイクを付け、音声を HDV によって伝送しようとしたが、コネクタの不整合によりノイズが発生した。当日はこれを回避するために観測拠点とスタジオ間を Skype で結び、これによって番組中のやり取りを実施した。Skype による音声レポートは特にアナログノイズや伝送ノイズも入らず良好であった。

またこのやりとりのキュー出しは観測拠点にてスタジオからの戻り映像を見て判断した。映像のループバックにかかる時間は一秒以内に抑えられており、番組の進行を妨げるようなものではなかった。

4.3. 全天周撮影システムの結果

プラネタリウムでは、全天周画像のほかに、Ruff による拡大映像を床面に置いたモニターで同時に表示した。食が進行していくにつれ、ドームに投影された空や周囲の風景は暗くなり、日食によって現地の明るさが変化したことが容易に理解できた。会場に集まった市民 70 人に対して行ったアンケートでは、全員が観測現地が暗くなったことを認識し、ほぼ全員 (98%) が月の影に入ったことを理解した。日本側では同時に、インターネットに対しても全天周画像が公開された。

5. まとめと今後の課題

LE2005a では観測拠点にて高速回線を確保することができ、DV や HDV といった高画質映像を複数本 ENOC へ送出することができた。これにより非常に臨

場感ある映像の中継が実現できた。また同時に VoIP を用いた観測拠点とのインタラクションや微速度ムービーの送出も実現した。筆者らが課題としていた事項はすべて実現化でき、高速回線が日食中継に果たす役割の重要性を証明できたと考える。

今後の課題として、DV と HDV の品質の差異の原因を解明する必要がある。また、ギガビットクラスの回線が確保できなかった場合での応用も考えられる。DV や HDV でなくとも日食の様相を伝送するのに適した CODEC (例えば H.264 等) を用い、同等の成果を挙げることが可能と考えている。また衛星電話を用いた場合でも、複数の回線を確保し束ねるなどの利用方法によって、筆者らが考える理想的な伝送はある程度実現可能であると考えている。

謝辞 本プロジェクトの回線確保についてご協力いただいたインターネットイニシアティブ 新麗氏、東京大学 江崎浩氏、加藤朗氏、中山雅哉氏、観測拠点のコーディネーションをいただいた Consulintel Jordi Palet Martinez 氏、ネットワークコーディネーションをいただいた APAN, JGN2 のスタッフ各氏、現地での観測及びオペレーションについてご協力いただいた Consulintel のスタッフ各氏、RedIRIS のスタッフ各氏、市川雄一氏、情報通信研究機構 田中健二氏、東京エレクトロン 原田雅博氏、ENOC 構築および運用にご協力いただいた情報通信研究機構 青木哲郎氏、全天周撮影についてご協力いただいた和歌山大学の荻原文恵氏、みさと天文台の小澤友彦氏に感謝します。

文 献

- [1] <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/SEmono/ASE2005/ASE2005.html>
- [2] <http://www.live-universe.org/>
- [3] <http://日食中継.jp/>, <http://www.live-eclipse.org/>
- [4] 小澤友彦, 矢動丸泰, 尾久土正己, 田口弘子, 市川伸一, 渡部潤一, “微速度撮影法による星野動画作成システムの開発,” 国立天文台報, 第 6 巻第 2 号, pp. 67-78, 2003.
- [5] <http://www.rediris.es/>
- [6] <http://www.geant.net/>
- [7] <http://abilene.internet2.edu/>
- [8] <http://www.apan.net/>
- [9] <http://www.jgn.nict.go.jp/>
- [10] Akimichi Ogawa, Katsushi Kobayashi, Kazunori Sugiura, Osamu Nakamura, Jun Murai, “Design and Implementation of DV based video over RTP”, Packet Video Workshop 2000, 2000.
- [11] http://www.tel.co.jp/cn/product/ruff_systems/ruff_systems/index.html
- [12] T. Kondo, K. Nishimura, R. Aibara, “An Efficient FEC Method for High-Quality Video Transmission on the Broadband Internet”, IEICE Transactions Vol.E87-B No.3, pp.643-650, 2004.