

第 I 部

高度インターネットライブ中継実験
～ベートーヴェンは凄い～

第1部 高度インターネットライブ中継実験 ～ベートーヴェンは凄い～

第1章 プロジェクト概要

WIDE プロジェクトは、慶應義塾大学（同大学内「ベートーヴェン・インターネット配信実行委員会」と協力して、2010年12月31日13:00～23:35に東京文化会館大ホールにて開催されたコンサート「ベートーヴェンは凄い！全交響曲連続演奏会2010」（表1.1）をリアルタイムにインターネット経由で全世界に中継した。配信機構としては USTREAM、WMT、マルチキャストなどを利用し、コンサートの全プログラム（休憩中を含む。タイムテーブルは表1.2参照）を、3D および高品質映像・音声など、合計8種類のストリームによる配信を行った（公式ウェブページ：図1.1）。

慶應義塾大学日吉キャンパスでは、3D 映像 + 5.1ch サラウンド音声での体験実験およびパネル討論会を実施した。同会場では併設の子供向けワークショップも開催された（12:15～15:00。第1部3D視聴を含む）。

インターネット配信の1つとして実施した USTREAM による配信は、56の国と地域に分散する、約5万5千の視聴者によって、13万以上のアクセスが記録され、23:30頃には同時に7千を超える視聴が確認された。

また、Twitter 上では、ハッシュタグ（#artsforall）を用いて視聴者による共有空間が構成され、10時間半の中継を通して継続的に2,200の異なる Twitter アカウントから、合計約1万4千のコメントが、同ハッシュタグを用いて投稿された。

配信された映像音声と同じコンテンツ（休憩時間を除く）は、スカパー！で、2011年2月5日（3D + 5.1ch サラウンド音声）、2月6日（HD + 2ch 音声）の両

表 1.1. 開催概要

公演名	ベートーヴェンは凄い！全交響曲連続演奏会 2010
日時	2010 年 12 月 31 日 13:00～23:35 （トーク・休憩を含む、演奏は約 6 時間）
場所	東京文化会館・大ホール（東京・上野）
制作	（株）メイ・コーポレーション
収録・3D 制作	（株）NHK メディアテクノロジー
指揮	ロリン・マゼール
管弦楽	岩城宏之メモリアル・オーケストラ／コンサートマスター：篠崎史紀 （NHK 交響楽団第 1 コンサートマスター）

表 1.2. コンサートプログラム

第 1 部	13:00～14:10	ベートーヴェン交響曲第 1 番・第 2 番
	14:10～15:10	三枝氏と奏者によるトーク（1）+ 休憩
第 2 部	15:10～16:50	ベートーヴェン交響曲第 4 番・第 3 番
	16:50～17:50	三枝氏と奏者によるトーク（2）+ 休憩
第 3 部	17:50～19:15	ベートーヴェン交響曲第 6 番・第 5 番
	19:15～20:15	休憩
第 4 部	20:15～21:25	ベートーヴェン交響曲第 8 番・第 7 番
	21:25～22:25	三枝氏と奏者によるトーク（3）+ 休憩
第 5 部	22:25～23:35	ベートーヴェン交響曲第 9 番



図 1.1. 公式 Web ページ <http://a4a.wide.ad.jp/>

日に、それぞれ視聴無料枠にて放映された。

本報告書は、本配信プロジェクトが実施したインターネット配信の全体像と実施内容の技術的情報の記録を目的としたもので、各種併設イベント、および、視聴者の十分な分析や考察は含まれてない。各コンポーネントの詳細な報告はそれぞれの研究者によって今後発表される予定である。

第2章 配信概要

本プロジェクトで配信したストリームのフロー概要を図 2.1 に示す。図中の記号で示されるコンテンツについては表 2.1 に示す。

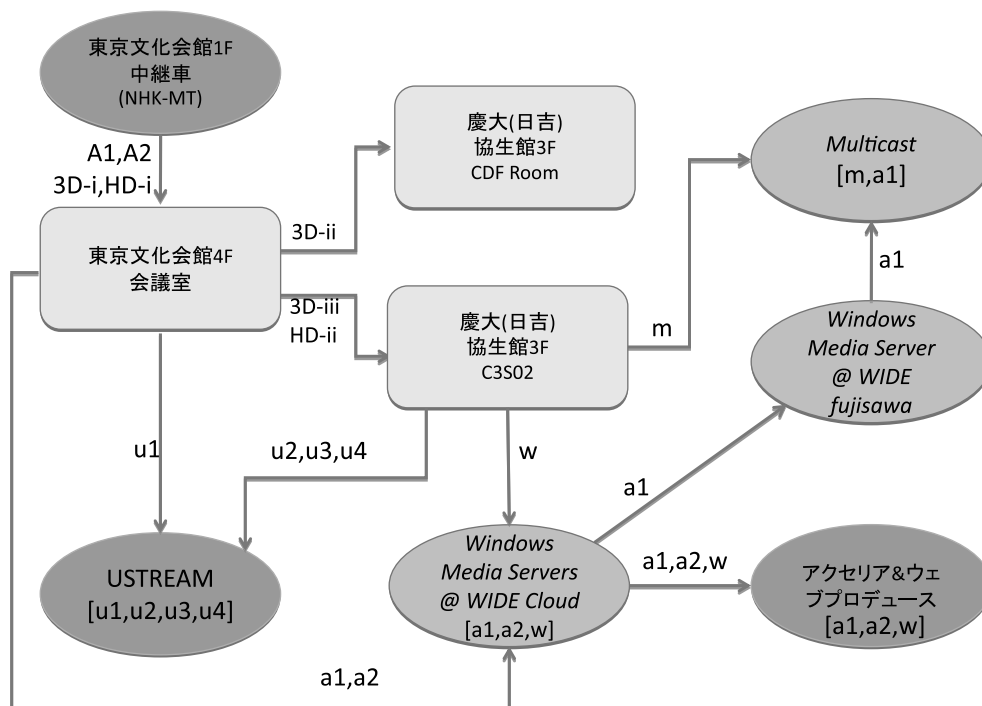


図 2.1. 配信ストリームのフロー概要

表 2.1. コンテンツ一覧

記号	内容	帯域	視聴環境
A1	天吊と数本のスタンドマイクをアナログミキシングした音声 LR (キャノン)		
A2	デジタルミキサーからの音声 LR (24 bit/48 kHz 相当) (キャノン)		
3D-i	3D Side-by-Side 1080i / 5.1ch + 2ch 音声エンベデッド (HD-SDI) 映像：3D カメラ 4 台 (舞台上・右袖・左袖・一階席後部中央) の映像を中継車内で スイッチング 音声：5.1ch サラウンド収録を中継車内でデジタルミックス ¹		
HD-i	HD 1080i / 5.1ch + 2ch 音声エンベデッド (HD-SDI) 映像は、上記 3D の左のみ		
3D-ii	3D-i を HD-SDI over IP 伝送 (H.264)	18 Mbps	日吉会場
3D-iii	3D-i を HD-SDI over IP 伝送 (H.264)	18 Mbps	—
HD-ii	HD-i を HD-SDI over IP 伝送 (H.264)	18 Mbps	—
a1	ソース：A1 24 bit/96 kHz WMA	256 kbps	WMP ² , VLC ³
a2	ソース：A2 24 bit/48 kHz WMA	256 kbps	WMP, VLC
u1	ソース：HD-i (V) H264 30 fps 1280 × 720 (A) MP3 2ch 48 kHz	(V) 1.8 Mbps (A) 256 kbps	USTREAM (Web)
u2	ソース：3D-iii (V) H264 30 fps 1280 × 720 (A) MP3 2ch 44.1 kHz	(V) 1.8 Mbps (A) 192 kbps	USTREAM (Web) PC を 3D 対応テレビに HDMI 接続して視聴
u3	ソース：3D-iii (V) H264 30 fps 640 × 360 (A) MP3 2ch 44.1 kHz	(V) 650 kbps (A) 112 kbps	USTREAM (Web) 3D 対応携帯端末
u4	ソース：HD-ii (音声のみ) AAC 2ch 48 kHz	320 kbps	USTREAM (Web) 低帯域向け
w	ソース：3D-iii (V) 720p・(A) 5.1ch 24 bit/48 kHz	(V) 3 Mbps (A) 384 kbps	WMP, VLC
m	ソース：HD-ii (V) 720p・(A) 5.1ch 24 bit/48 kHz	4.5 Mbps	VLC

図 2.1 中の [] で囲まれた記号は、インターネット
視聴者向けのアクセスポイントを示す。表 2.2 に各
コンテンツのアクセスポイントを示す。

1 本収録における 5.1ch では、+.1 チャンネルは作成していない (無音)

2 WMP: Microsoft 社 Windows Media Player

3 VLC: VideoLan Organization、オープンソースマルチプラットフォームのマルチメディアプレイヤー

表 2.2. アクセスポイント一覧

				アクセス情報
a1	(1)	IPv4	Unicast	mms://a4a-2496.wide.ad.jp/wma-2496
	(2)	IPv6	Multicast	http://a4a.wide.ad.jp/wmt/2496multi-v6.asx Group – FF7E:140:2001:200:0:2::100 Source – 2001:200:0:ff02::170 Port – 16895
	(3)	IPv4	Multicast	http://a4a.wide.ad.jp/wmt/2496multi-v4.asx Group – 233.9.196.100 Source – 203.178.156.171 Port – 20517
a2		IPv4	Unicast	mms://a4a-2448.wide.ad.jp/wma-2448
u1		IPv4	Unicast	http://www.USTREAM.tv/channel/beethoven-2d http://a4a.wide.ad.jp/jp/watch_HD.html
u2		IPv4	Unicast	http://www.USTREAM.tv/channel/beethoven-3dtv
u3		IPv4	Unicast	http://www.USTREAM.tv/channel/beethoven-3d
u4		IPv4	Unicast	http://www.USTREAM.tv/channel/beethoven-audio
w		IPv4	Unicast	mms://a4a-3d.wide.ad.jp/wmv-3d
m	(1)	IPv6	Multicast	Group – FF7E:140:2001:D30:101:1:8150:3D30 Port – 5555
	(2)	IPv4	Multicast	Group – 233.9.196.101 Source – 203.178.156.200 Port – 5555

第3章 ネットワーク

ネットワークトポロジを図 3.1 に示す。本プロジェクトのために特別に設置した部分は以下 4 点である。

(2)～(4) は慶應義塾大学 ITC が大学側作業を担当。

(1) 東京文化会館と大手町間に 1 Gbps の臨時回線を敷設。期間は 12/27～12/31。NTT 東日本が東京文化会館 1F モデム室まで敷設。1F～4F はビル外を配線。

(2) 日吉キャンパス協生館 3F サーバルームより、協生館 3F CDF プロジェクタ室へファイバを敷設（予備も含めて SM 6 芯・3 ペア）。VLAN を設定。

(3) 日吉キャンパス協生館 3F サーバルームより、協生館 3F C3S02 教室へファイバを敷設（予備も含めて SM 6 芯・3 ペア）。VLAN を設定。

(4) 湘南藤沢キャンパス内 WIDE SFC NOC より、日吉キャンパス協生館 3F サーバ室へバックアップ線（L2）を準備。

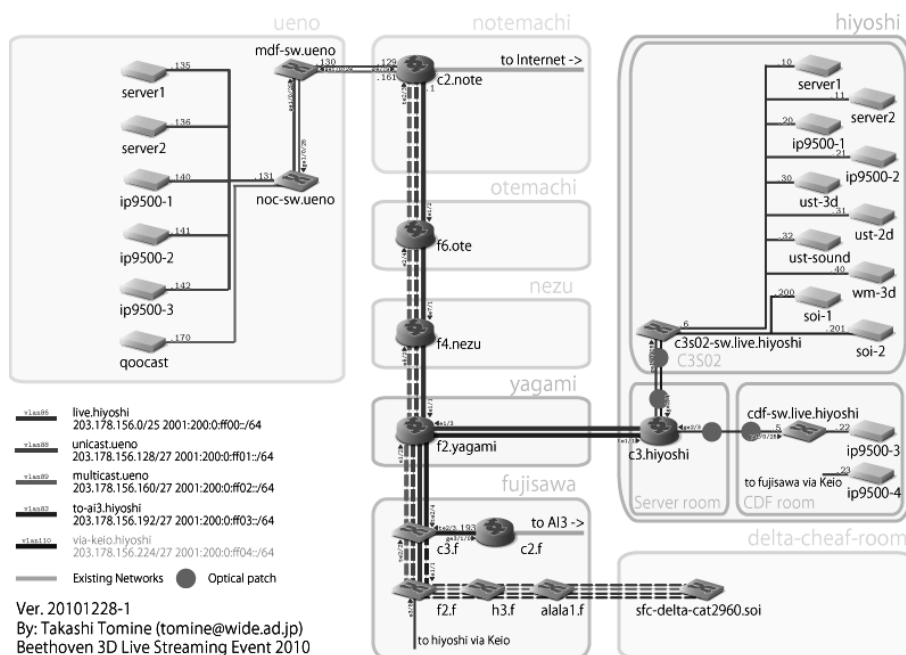


図 3.1. ネットワークトポロジ図

第 4 章 配信機器構成

(1) 上野オペレーションルーム

東京文化会館 4F 会議室に臨時に設けられた上野オペレーションルームでは、中継車より 3D-i、HD-i

を受け取り、それらを 3D-ii、3D-iii、HD-ii として日吉会場へ伝送、また、受け取った A1、A2 と HD-i を利用して a1、a2、u1 の各種ストリームを生成してインターネット配信を行った。機器構成を図 4.1 に示す。また、東京文化会館の様子を図 4.2 に示す。ストリームの詳細は表 2.1 を参照のこと。

(2) 日吉オペレーションルーム

慶應義塾大学日吉キャンパス協生館 3 階 C3S02 教室に臨時に設けられた日吉オペレーションルームで

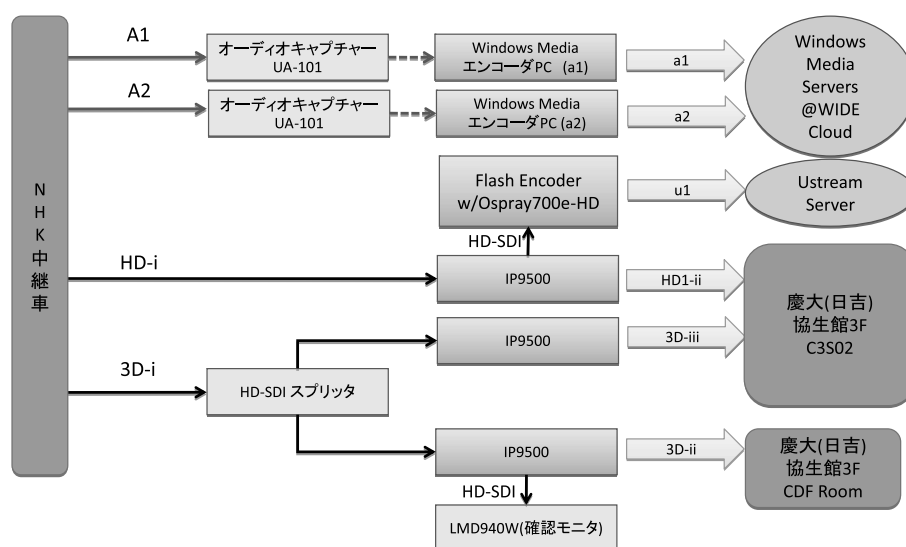


図 4.1. 上野オペレーションルーム機器構成図



図 4.2. 上野会場の様子

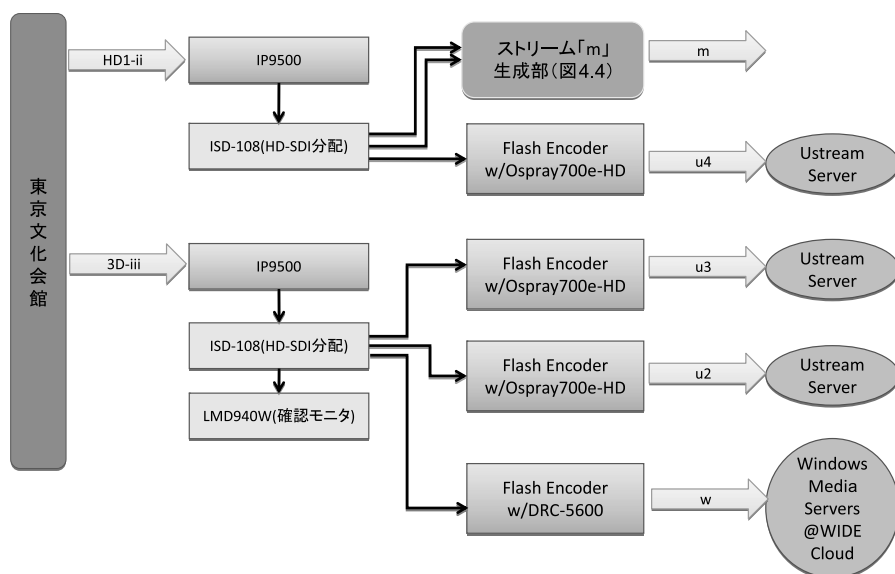


図 4.3. 日吉オペレーションルーム機器構成図

は、上野オペレーションルームから伝送された3D-iiiおよびHD-iiを利用してu2、u3、u4、w、mの各種ストリームを生成し、インターネット配信を行った。機器構成を図4.3、図4.4に示す。ストリームの詳細は表2.1を参照のこと。

これら配信用機器以外に、日吉オペレーションルームでは、各種ストリーム確認用に、PCを13台、3D対応テレビ（パナソニック、42インチ）1台、5.1chサラウンド音声再生環境2セットおよび3D対応携帯を設置し、約10名のスタッフにより、各種スト

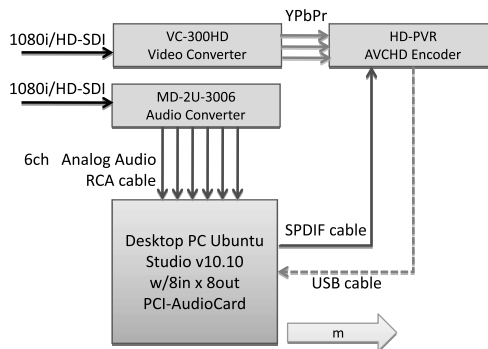


図 4.4. ストリーム「m」生成部機器構成図



日吉
オペレーション
ルーム

図 4.5. 日吉オペレーションルームの様子

ルームの受信品質、および、各種機器への接続性監視を継続的に実施した（図 4.5）。

第 5 章 3D 視聴体験実験

慶應義塾大学日吉キャンパス協生館3F CDF ルームにて、4K プロジェクタを利用した 3D 映像（専用メガネ着用）および 5.1ch サラウンド音声再生環境を構築し、関係者および一般参加者（ウェブによる事前申込み）延べ約 80 名による視聴体験実験を行った（図 5.1、図 5.2）。映像は、上野オペレーションルームから伝送された 3D-ii を、教室既設の 180 インチスクリーンに 2 台の 4K リアプロジェクタ（左用・右用）を用いて投影した。また、音声は同 3D-ii にエンベデッドされた音声信号を用いて特設スピーカー 5 台により立体音響を構築した。機器構成を図 5.3 に示す。

会場の視聴者からはコンサート終了と同時に拍手喝采が起こるなど、高い臨場感を共有できる空間となった。アンケート回答 46 名中 90%以上の視聴者が、3D 映像と音の立体感から没入感を感じ、まったく新しいコンサートの楽しみ方であると高く評価した。また、コンサート休憩時間に実施したパネル



図 5.1. 日吉 CDF ルーム視聴者（教室前方から撮影）

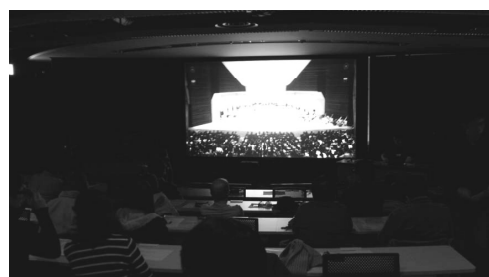


図 5.2. 日吉 CDF ルーム視聴環境（教室後方から撮影）

ディスカッションにおいても、今後の継続的な実施を期待する発言が多くでた。

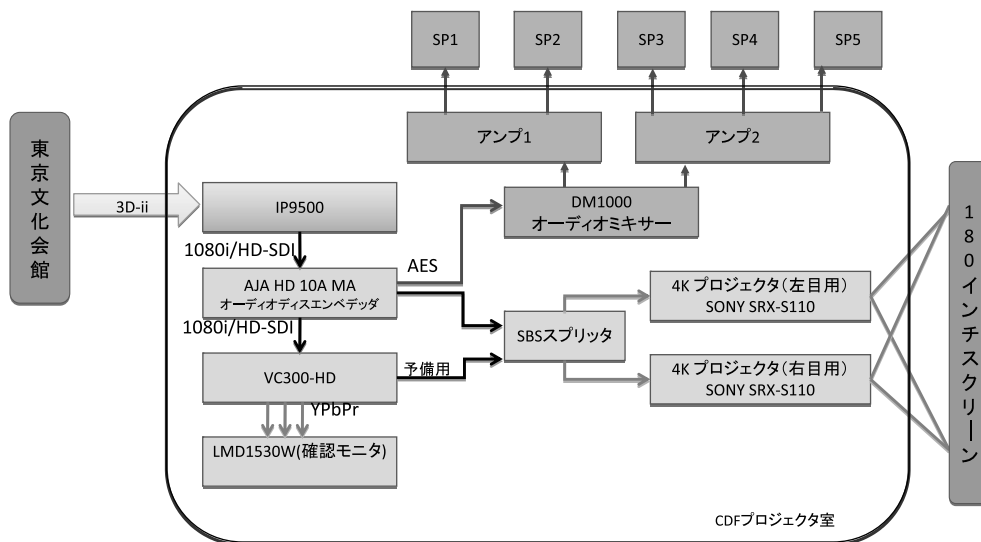


図 5.3. 日吉 CDF ルームの機器構成

第6章 WIDE クラウドと CDN

本配信プロジェクトでは、負荷分散を目的として、エンドユーザがアクセスする Web サーバ (<http://a4a.wide.ad.jp/>) と「a1-(1)」「a2」「w」

(詳細は表 2.2 参照) の配信サーバとして Windows Media Server を WIDE クラウド上の VM に配置した。さらに、同 3 種類のストリームは、アクセリア (株) と (株) ウェブプロデュース (2011 年 1 月 1 日より株式会社 NTT データ・アール) が運営する CDN (Content Delivery Network) 上の Windows Media Server を利用して、アクセスの分散を行った (図 6.1)。音声ストリーム「a1(1)」「a2」については、WIDE クラウド内の 8 つの VM を管理するロードバ

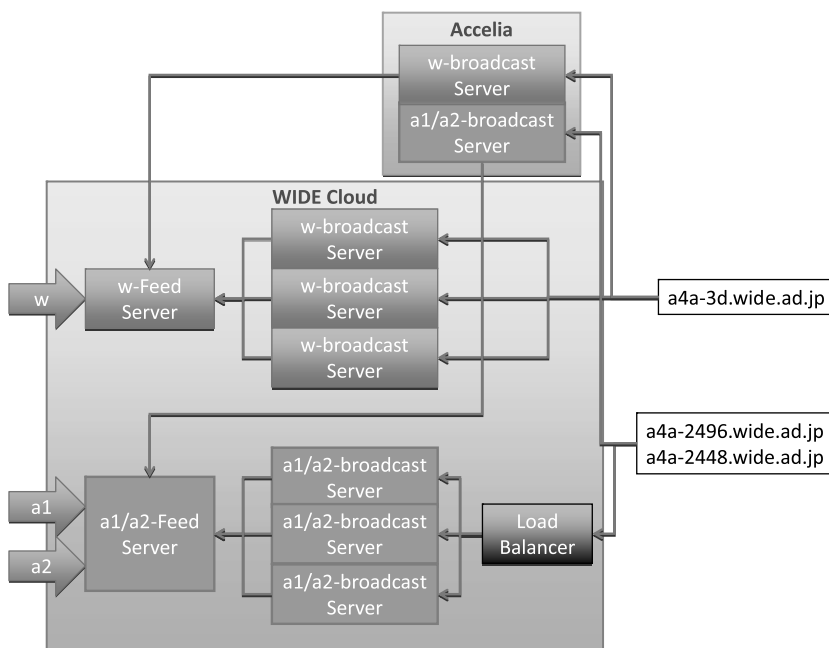


図 6.1. WMT ストリーム配信構成と DNS を利用した負荷分散

ランサーとアクセリア CDN 内の両方にアクセスポイントを設けた。3D ストリーム「w」については、WIDE クラウド内に7つ設置された VM 上と、アクセリア CDN 内にアクセスポイントを設けた。これらのアクセスポイントへのユーザからの URL はそれぞれ単一で（表 2.2）、実体へのアクセスは、DNS のラウンドロビンを利用して分散させた。

第7章 視聴者

(1) 全体

USTREAM、Twitter、WMT アクセス数の時系列推移を図 7.1 に示す。

図 7.1 中の 1~9 の数字は、交響曲の開始時刻、M はトークセッションの開始時間、B は休憩の開始時間を示している。中継時間が長時間であったため、途中で Twitter や SNS を通して情報が広まり、継続的にユーザが増え続け、9 番の最後にピークを迎えた。ユーザの視聴状況は、Twitter を通して知ることができたが、23 時台に複数のユーザが音声の途切れや映像の停止など不安定を訴え、また日吉キャンパスでの監視環境でも同様の症状を確認したため、USTREAM の他チャンネル並びに Windows Media 等の他メ

ディアへの誘導を行った。また、USTREAM 側でもユーザ数の増加に伴った対応を行い、まもなく状況は改善され最後まで大きな事故もなく視聴が継続できていた。また、休憩時間も舞台の様子を見えるなどの理由から継続的にアクセスされ、視聴数が減らなかったため、配信は休憩時間も停止することなく継続することとした。

(2) USTREAM

USTREAM の視聴者数は 4 チャンネル合計で、Unique Viewer が 55,135、Non Unique Viewer が 117,992 であった。視聴者のアクセスは、56 の国と地域から行われ、その 95% は日本からであるが、米国、ヨーロッパ、アジア、南米、中東など、広い範囲で分布していた。アクセスされた地域の上位 20 を表 7.1 に示す。また、視聴者の 40% は USTREAM の他ページからの誘導によるもので、公式ウェブ経由（ウェブページ埋め込み）の直接視聴が 19%、Twitter からのアクセスが 18% という結果であった。

各チャンネルの同時アクセス数の最大値を表 7.2 に示す。4 チャンネル合計の最大値が観測された 23:30 台は、全ストリーム合計で 13 Gbps 程度のトラフィックが発生していた計算となる。

(3) Twitter

USTREAM の画面では、ソーシャルストリームとして #artsforall をハッシュタグとした Twitter によるコミュニケーションが行われ（図 7.2）、視聴者同

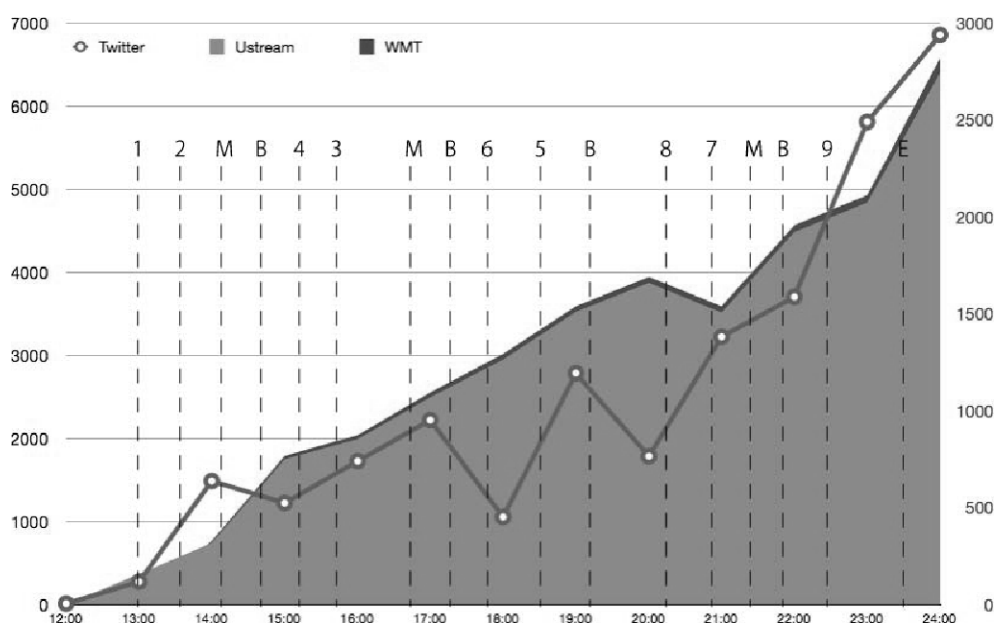


図 7.1. アクセス数の時系列推移

表 7.1. 国別視聴数（上位 20）

1	日本	34,852	11	オランダ	41
2	米国	918	12	香港	36
3	ドイツ	117	12	スイス	36
4	台湾	88	14	スペイン	30
5	イタリア	80	15	マレーシア	22
6	韓国	65	16	ヴェトナム	20
7	カナダ	49	17	オーストリ	16
8	フランス	47	17	スウェーデン	16
8	シンガポール	47	19	オーストラリア	14
8	英国	47	20	不明	14
				その他合計	156

表 7.2. USTREAM 同時アクセス最大数

チャンネル	同時アクセス最大値	観測された時間帯
u1 (HD)	6,313	23:30 台
u2 (3DTV)	18	23:30 台
u3 (3D モバイル)	43	23:30 台
u4 (音声のみ)	849	23:00 台
4 チャンネル合計	7,012 (u4 はこの時 638)	23:30 台



図 7.2. USTREAM (u1) とソーシャルストリーム（画面右側）

士がそれによって連帯感をもった共有空間が構築された。Twitter への Tweet 数は合計 13,991 件あった。各時間帯での Tweet 数、アカウント数を表 7.3 に示す。

(4) WMT

WMT は、前述のように複数のアクセスポイントを設けて負荷分散を行った。それぞれのアクセスポイントにおける同時アクセス最大値を表 7.4 に示す。23:30 台には 60 Mbps 程度のトラフィックとなった。

(5) マルチキャスト

マルチキャスト「m」(HD + 5.1ch) は、RP を AI3 内に設置し、主に SOI Asia パートナーを対象として配信された。アクセス数の推移を図 7.3 に示す。

表 7.3. #artsforall Tweet 数とアカウント数

日付	Tweet 数	Tweet 数 (除・公式 RT)	ユニーク アカウント 数
2010/12/27	1	1	1
2010/12/28	22	18	5
2010/12/29	29	16	4
2010/12/30	26	13	7
2010/12/31	14,695	1,341	442
		1,841	550
		2,316	658
		3,028	772
		5,394	1,363
2011/1/1	48	23	20
全体	14,821	13,991	2,200

パートナー大学がクローズするタイミングであることや、告知の遅れなどから、受信サイト数は少なかったが、マレーシア 1 大学とインドネシア 2 大学での受信が確認された。

表 7.4. WMT 同時アクセス最大数

	アクセスポイント	同時アクセス最大値	観測された時間帯
a1(1) + a2	A10 ロードバランサー (WIDE クラウド)	86	23:10 台
a1	アクセリア	148	23:30 台
a2	アクセリア	50	23:00 台
m	アクセリア	5	23:00、23:10 台
m	WIDE クラウド内 VM	40	23:50 台
合計		300	23:30 台

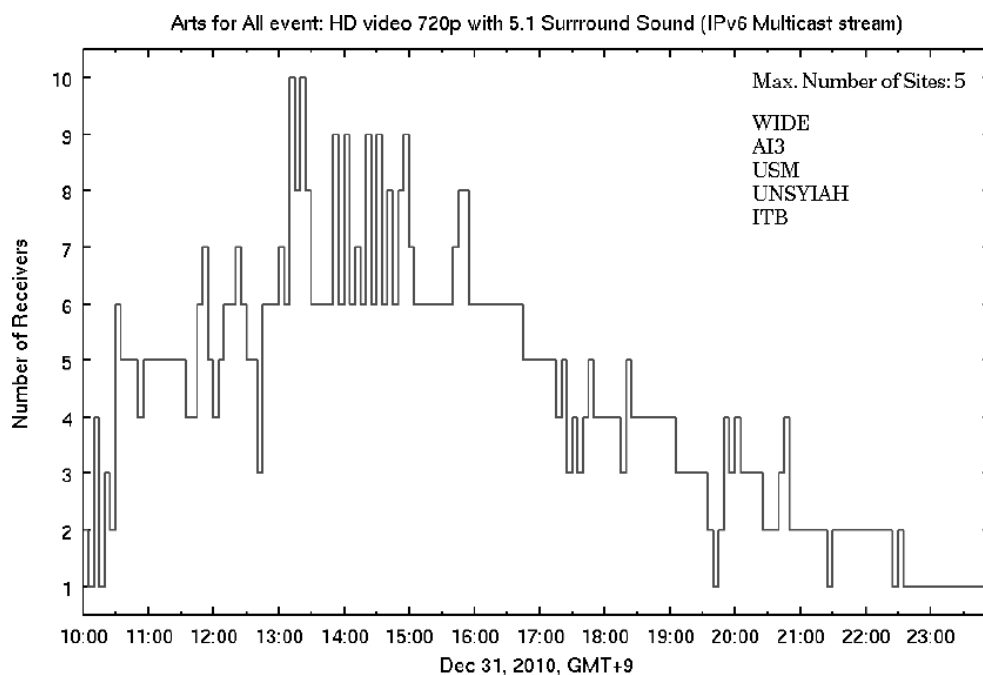


図 7.3. マルチキャスト「m」の受信サイト数

第 8 章 まとめ

WIDE プロジェクトでは、過去様々な形でインターネット配信に関わってきたが、本配信プロジェクトを通して、多くの発見と共に、インターネットのさらなる可能性を見出すことができた。

ストリーム配信機構として、USTREAM による配信、CDN とクラウド環境を用いた WMV による配信、そしてマルチキャストによる配信を行った。

利用者への視聴方法に関する周知は、USTREAM のトップページ（12 月 28 日～12 月 31 日）および

Twitter による告知（12 月 24 日よりオフィシャルアカウント ArtsforAll_Keio 開設）、WMV による配信とマルチキャスト配信については、ホームページによる告知（12 月 22 日開設、視聴方法は 28 日より掲載）と、マルチキャストコミュニティに対するメール告知を行った。ホームページによる告知は、様々な理由から掲載が短期間となり、かつ検索サービスへの対応の遅れなども影響し、結果として十分な周知効果が得られなかった。これに対し、USTREAM のトップページおよび Twitter による告知のインパクトは大きく、USTREAM が多くの視聴者を持つ映像配信サービスとして浸透していることが確認できた。

配信コンテンツとしては、HD 画質の 2D、3D 映像と 24 bit/48 kHz サンプルングの 2ch、5+1ch



図 8.1. WMT (「w」) を 3D 対応テレビに接続した視聴環境

のコンビネーション、そして、音声のみのコンテンツとしては、24 bit/96 kHz および 24 bit/48 kHz サンプリングの音声ストリーム、計 8 種類の配信を行った。現在のインターネットでおこなわれているストリーム配信としては、高品質なコンテンツであったが、Twitter などのコメントを見る限り、多くの視聴者に対して、十分な品質で配信できていたことも、大きな発見であった。また、逆に、このような高品質なコンテンツがインターネット経由で視聴できることを一般視聴者に確認して頂けたことも大きな成果である。一般的なストリーム配信では、どうしても利用者数を意識して多様な視聴環境を考慮しなければいけないため、品質を押さえがちであるが、WIDE プロジェクトが実験としてこのような高品質な配信をすることの意味は大きいと再確認できた。

さらに、日吉会場での臨場感のある視聴環境は、予想をはるかに超える意義を確認することができた。今後、コンサート以外の様々な芸術分野にも適応していくことが期待される結果となった。

今回の配信コンテンツの 1 つとして、3D のライブ配信というトライアルも行った。コンテンツの制作においては、(株) NHK メディアテクノロジー様の技術的な協力により、3D コンテンツとしても非常に完成度の高いコンテンツを配信できた。インターネット経由での 3D ライブ配信は、今までも NVIDIA による特別な視聴機器を前提とした配信は行われてきたが、今回は、一般家庭にこれから普及が見込まれる 3D 対応テレビでの視聴環境の提供 (図 8.1) や、3D 対応携帯電話での視聴 (図 8.2) など様々な視聴環境に対しての配信を行った。インターネットコンテンツを利用して 3D 対応テレビの視聴を行うといった形が十分利用可能であることを実証したこと、また、



図 8.2. 3D 対応携帯での視聴環境

携帯電話での非常に興味深い視聴環境を実現できたことも今後の 3D コンテンツ市場に対する大きな貢献といえる。

また、クラシックコンサート特有の、コンサート会場で静かに鑑賞することがマナーとされる芸術に対して、多くの視聴者がお互いの鑑賞を阻害することなく、お互いの感動を Twitter というアウトバンドのメディアで共有するという全く新しい鑑賞環境を創造できたことも本配信プロジェクトの大きな成果であり、これを通して、これからの芸術の鑑賞環境にとって新たな可能性を模索できたと確信している。コンサート最終局面、ベートーヴェン交響曲第 9 の合唱のパートでは、多くの視聴者が Twitter でそれぞれの感激を言葉で表現し合う様子は、まさに、新しいコンサートの鑑賞形態であった。

最後に、なによりもこのコンサートそのものの素晴らしさが、本配信プロジェクトをやり多いものにしてくれたということは言うまでもない。テレビ放映用映像をそのままインターネット配信に利用させていただいたこと、また、無料で全世界への配信を許可して下さった事など、御英断いただいたマゼール氏、三枝氏、オーケストラおよび関係者の皆様と、この実現に向けて御協力いただいた全ての皆様に、心から敬意を表します。

以上