

博士論文

アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境  
構築に関する研究

馬場 始三

2002年2月5日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

論文番号： NAIST-IS-DT9861206

提出者： 馬場 始三

審査委員： 山本 平一 教授  
千原 國宏 教授  
山口 英 教授

提出日： 2002年2月5日

---

# アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境 構築に関する研究\*

馬場 始三

## 内容梗概

インターネット技術実証基盤環境は、世界規模で稼働しているインターネットの成長を支えてきた重要な研究開発環境である。このネットワーク環境はインターネット技術の有効性の検証に役立つだけでなく、この環境を核として新たなインターネットコミュニティを形成し、インターネット技術実証基盤の運用を通じた運用管理技術の蓄積へと貢献してきた。インターネットの爆発的な普及とともに、国際的な協調による高度なインターネット技術や多彩なアプリケーションの研究開発体制が求められており、インターネット技術実証基盤環境の国際的な展開が進んでいる。しかしながら、情報通信インフラが未整備な地域を多く抱えるアジア地域では、地域横断的なインターネット技術実証基盤環境はこれまでに構築できていない。

本論文では、情報通信インフラが未整備なアジア地域へインターネット技術実証基盤環境を速やかに構築するにあたって、衛星回線網を用いたインターネット技術実証基盤環境の構築手法を提案する。提案する構築手法は衛星回線を利用することにより、通信衛星がカバーするアジア地域の任意の地点間で環境構築を短時間で可能とする。また、採用する衛星通信システムは VSAT 地球局を用いてメガビットクラスの通信帯域を提供可能な Ku-band と C-band の衛星回線網の併用方式とする。

本論文で提案したシステムを実際にアジア地域で構築運用することにより、本手法の有効性を検証した。実用的な通信帯域幅として 2 Mbps を提供可能な周波

---

\*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 博士論文, NAIST-IS-DT9861206, 2002年2月5日.

---

数帯のうち、Ku-band と C-band を利用して 1996 年より衛星回線網を展開し、2001 年までにアジア 8 カ国を順次接続した。その上にインターネット技術実証基盤環境を実装後、実際にアジア各国との間でインターネット技術実証基盤環境を実運用を行い、その有用性を実証した。また、同環境の実運用を通して、アジア域内通信に適したインターネットルーティング方式の実現、VSAT 地球局の最適設計法および VSAT 運用支援システムを確立した。

本論文は、世界で初めて衛星ネットワークを利用した国際的なインターネット技術実証基盤環境の構築手法とその運用成果についてまとめたものであり、構築したネットワーク環境はアジア地域ネットワークとして稼働することで、国際協力活動へ貢献している。

#### キーワード

インターネット技術, 衛星インターネット, 技術実証基盤, アジア, AI<sup>3</sup> プロジェクト

---

# A study on deployment of Internet technology testbed network environment in Asia\*

Tomomitsu Baba

## Abstract

The Internet technology testbed network environment is important as the research and development environment that have been supporting the growing Internet on the global scale. This network environment is useful not only to evaluate and field-test the Internet technologies under study, but also to form a new Internet community around the environment, and to learn the experiences and know-how about Internet operation and management. As the spread of Internet exponentially, the international Internet technology testbed network environment is increasingly required and has been gradually deployed to produce the advanced Internet technologies and varieties of Internet applications. However, there is no Internet technology testbed network environment applicable to the wide range in the Asia, where there are many regions not fully equipped with information infrastructure.

This thesis proposes the deployment strategy using satellite networks for the rapid deployment of the Internet technology testbed network environment in the Asia. By using the satellite communication, this strategy can implement the environment between any points in the Asia where the communication satellite covers. This strategy uses both of Ku-band and C-band satellite networks which can provide a link with bandwidth of mega-bit class using a VSAT earth station.

---

\*Doctor's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DT9861206, February 5, 2002.

---

This thesis reports feasibility and effectiveness through the actual deployment and operations of the proposed environment in the Asia. At first, the network deployment has started since 1996, and the 8 Asian countries have been eventually connected by 2001 using 2 Mbps Ku-band or C-band links. The Internet technology testbed network environment over these satellite links has been operated and evaluated. And furthermore, this environment has brought the Internet routing adapted to intra-Asian communication, has shown the proposed approach for the design of the VSAT earth stations is most suitable, and has produced VSAT operation support system.

This thesis reports the only international Internet technology testbed network environment in the world using satellite networks, and shows the results on its operation. This thesis also reports that this network environment is in operation as one of the most useful regional networks in Asia supporting international collaboration.

**Keywords:**

Internet technology, satellite Internet, testbed network, Asia, AI<sup>3</sup> project

---

# 目次

<b>1</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1.	21世紀における情報インフラストラクチャー	1
1.2.	インターネット発展の歴史	2
1.3.	アジア各国におけるIT政策の動向	4
1.4.	インターネット技術実証基盤	6
1.5.	本研究の意義	7
1.6.	本論文の構成	8
<b>2</b>	<b>アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性</b>	<b>9</b>
2.1.	インターネット発展の歴史と技術実証基盤の意義	9
2.1.1	インターネット発展の歴史と技術実証基盤の役割	9
2.1.2	日本国内のインターネット基盤発展における技術実証基盤の役割	13
2.2.	アジア地域におけるインターネット基盤の現状	19
2.2.1	アジア地域全般	19
2.2.2	インドネシア	23
2.2.3	中国・香港	24
2.2.4	タイ	26
2.2.5	シンガポール	28
2.2.6	マレーシア	30
2.2.7	フィリピン	31
2.2.8	ベトナム	32
2.2.9	スリランカ	33
2.3.	アジア地域における技術実証基盤の構築へ向けて	34

## 目次

---

<b>3</b>	<b>アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の構築</b>	<b>37</b>
3.1.	目標	37
3.2.	技術実証基盤の構築アプローチ	37
3.3.	衛星通信方式に基づく基盤構築にあたって解決すべき課題	41
3.3.1	衛星セグメントにおける無線周波数	41
3.3.2	ネットワークポロジータとルーティング	42
3.3.3	持続的な国際協力の実現に向けて	42
3.4.	問題解決にいたる本研究のアプローチ	43
3.4.1	衛星セグメントにおける無線周波数	43
3.4.2	ネットワークポロジータとルーティング	44
3.4.3	持続的な国際協力の実現に向けて	46
3.5.	衛星通信方式による技術実証基盤 AI <sup>3</sup> ネットワークの実装	47
3.5.1	通信衛星と衛星回線	47
3.5.2	地球局	48
3.5.3	ネットワークポロジータ	49
3.5.4	IP ルーティング	50
3.6.	考察	51
<b>4</b>	<b>アジア地域におけるインターネット技術実証基盤の評価</b>	<b>61</b>
4.1.	衛星通信方式による技術実証基盤の運用	61
4.1.1	衛星通信方式による技術実証基盤の運用の困難さ	61
4.1.2	衛星通信方式による技術実証基盤のネットワーク管理システム	62
4.1.3	AI <sup>3</sup> VSAT モニタリングシステムの評価	65
4.2.	インターネット技術実証基盤の有効性の検証	66
4.2.1	リンク利用率の評価	66
4.2.2	衛星ネットワーク網の運用難易度の評価	67
4.2.3	マルチキャスト技術の実証基盤環境としての評価	69
4.2.4	降雨量の多い地域における Ku-band 回線の IP リンク評価	71
4.2.5	アジア地域の研究活性化への貢献度評価	71
4.3.	国際ネットワークとして機能するインターネット技術実証基盤	72



5 結論	77
謝辭	81
参考文献	83
付録	89
研究業績	95

## 目次

---

# 第 1 章

## 序論

本章では、どのようにしてインターネットが登場し、現在に至ったかという経緯を述べる。特に、本論文の背景としてインターネットの歴史的発展においてインターネット技術実証基盤環境が果たした役割を事例を通して考察する。そのうえで、アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の構築に焦点を当てた本研究の意義を述べ、最後に論文の構成を示す。

### 1.1. 21 世紀における情報インフラストラクチャー

IT (情報通信技術) の目覚ましい発展により、高度情報通信ネットワーク社会への移行が日本では現実のものとなりつつある。このネットワーク社会の発展基盤としてインターネットは世界各国で急速に普及しつつある。インターネットの利用は従来の教育研究分野にとどまらず、近年では広告販売、電子商取引、医療分野等と多岐にわたっている。

世界各国では IT 政策の強力な推進のもと、インターネット利用者数は世界的に増加の一途をたどっており、2001 年に世界全体で 3 億人を越え、特に日本を除くアジア太平洋地域の利用者数の増加は前年比 2.26 倍と驚異的な伸びを見せている。日本や欧米、アジア NIES<sup>1</sup>といった地域ではインターネットのアクセス環境のブロードバンド化や無線端末との融合が進み、電子商取引を始めとするインターネット関連ビジネス市場の成長とともにコンテンツの多様化・大容量化を加速している [1][2]。

---

<sup>1</sup>アジア NIES (新興工業経済群) とは、経済成長著しい韓国、台湾、香港、シンガポールを指す。

その一方でインターネットの普及が遅れる地域や国では、情報格差やデジタルデバイドといった社会問題に直面している。IT の革命的な影響は、人々の生活や学び方、働き方、あるいは地域や政府との関わり方にまで影響を及ぼすために、先進国、途上国を問わず、インターネットを基盤とした IT 技能向上への効果的な取り組みが必要である [3][4][5]。また、遠隔教育や遠隔医療、人材育成、国際環境協力といった分野ではインターネットを利用した国際協力の重要性が増している。21 世紀におけるグローバルな情報インフラストラクチャーとしてインターネットが期待通りに機能するために、インターネットの効果的な普及方法の開発や技術者の人材育成、基盤技術の新規開発が期待されている。

### 1.2. インターネット 発展の歴史

インターネットはコンピュータ通信の世界にかつてないほどの革命を起こした [6]。電報、電話、ラジオ、そしてコンピュータの発明はこの空前の革命の前段階に過ぎない。インターネットの登場と同時に、私達は世界への放送、情報宣伝のメカニズムとともに、また地理的位置に関係なく人々やコンピュータが相互に協力できる環境を手にいれた。

インターネットは情報インフラストラクチャーの研究開発に対する継続的な投資と公約の恩恵により発展した成功例といえる。1960 年代のパケット交換の初期の研究段階より、産官学が一体となってインターネットの新技术を開発し、発展させてきた。その結果、国境を越えた全世界的な情報インフラストラクチャーとみなされるほど、インターネットは幅広く世界へ浸透した。このインターネット発展の歴史を振り返るには、純粋な技術的視点にとどまらずに、技術、組織、そしてコミュニティといった複数の視点から振り返る必要がある。そしてインターネットの影響はコンピュータ通信といった工学分野にとどまらず、電子商取引、情報入手、そしてコミュニティー運営といった人々の社会的営みにまで影響を与えることになった。

アメリカ国防総省 DARPA に設立された高等研究計画局 ARPA の手により、米国のインターネットの前身となる ARPANET が生まれたのは 1969 年のことである [7]。ARPANET は全米の機関や研究所などを結ぶネットワークプロジェ

クトであり、パケット交換機と専用回線によって当初 4 台のコンピュータを形成することからスタートした。このネットワークには軍事研究以外の全米の研究者も参加でき、その中で、各組織のコンピュータに記録されている各種データの相互利用や、異機種コンピュータ間における相互利用などの研究が進められた。1970 年代には、このネットワークからインターネットの標準プロトコルとなった TCP/IP も誕生した。当初、ARPANET への接続は軍や国防総省、防衛研究を行っている大学などに限られていた。そこで 1970 年代後半から 1980 年代にかけて、通信コミュニティとしてはインターネットの原型にあたる USENET、その USENET を包み込む形で発足した CSNET といった一般の研究コミュニティや営利組織を接続するネットワークが現れた。1983 年、ARPANET はアメリカ軍事関係のネットワーク MILNET と研究のためのネットワーク ARPA Internet に分離、ここに現在のインターネットの礎が築かれることになった。そして 1990 年、アメリカ科学財団 NSF の運用する NSFNET が ARPA Internet を引き継いだ。NSFNET はもともと全米の 5 つのスーパーコンピュータを接続するネットワークとして 1986 年から運用されていたが、1996 年頃には複数の 45 Mbps 回線をバックボーンとして擁するアメリカの最も重要なバックボーンへ成長していた。これ以降、高速かつ大容量バックボーンの NSFNET のもとへ全米の大学や研究機関のコンピュータネットワークが接続されるにしたがって、米国のインターネットは発展していった [8]。そして、NSFNET が登場した頃からインターネットは全世界へ急速に拡大し、接続されるネットワーク数、ユーザ数、コンピュータ数が指数関数的に増えていった。1996 年頃には、インターネットは七つの大陸を結び、米国内のネットワーク約 29,000 経路を含む 50,000 経路以上へとそのネットワーク規模は拡大した [6]。こうして TCP/IP はほとんどの広域ネットワークプロトコルに取って代わり、IP はグローバルな情報インフラストラクチャ における通信プロトコルのスタンダードとしての地位を確立した。

一方、日本では 1984 年に JUNET が発足して大学研究機関の LAN を相次いで接続していった [9]。JUNET は電話回線を通じて 1986 年には USENET と、1987 年には CSNET と相次いで接続し、電子メールが日米ネットワーク間で交換されるようになった。1989 年には JUNET と NSF、NASA の間で専用回線による常時 IP 接続を行った。また、1988 年に WIDE プロジェクトが発足して、

WIDE Internet を中心に国内ならびに海外接続における常時 IP 接続ネットワークが拡大していった。1994 年には WIDE Intenet と国内商用パソコンネットが接続に成功したことを契機に、日本のパソコン通信が次々とインターネット接続を果たし、日本国内のインターネットにおけるトラフィック量の増加に拍車をかけた。

### 1.3. アジア各国における IT 政策の動向

インターネット環境はアジアの多くの国々や地域へ急速に広がりを見せている。環境の普及拡大にともない、従来の教育研究分野の人だけではなく、医療、放送、通信販売、広告といった他の分野の人々もインターネットを使い始めている。

また、シンガポール、韓国、マレーシア、台湾、香港といった IT によって経済成長を続ける国の例をみてもわかるように、アジア経済成長の牽引役となっているのが携帯電話とこのインターネットの爆発的な普及である。米国の調査会社 IDC によればアジア・太平洋地域におけるインターネット人口の 97 年から 2003 年までの平均増加率は 56 % と極めて高いと報告されている [10]。アジア各国では高速インターネット接続サービスの普及も急速に進んでおり、シンガポールでは 100%、香港では 80% の家庭で高速インターネット接続が可能となっている一方、韓国や台湾、タイでも普及へ向けた動きが本格化している。さらにシンガポールやマレーシアといった国では、高速インターネット接続サービス事業へ通信事業者に加えて放送事業者が参入するなど、通信と放送分野のサービス融合が進みつつある。

次に述べるように、アジア各国・地域の多くは 90 年代に入ってから経済発展の要とした情報通信の基盤整備や産業育成を推進しようと、様々な国家計画を実施してきている [2][11]。

日本では、2001 年の e-Japan 戦略のもと、2001 年から 5 年以内に世界最先端の IT 国家になることを目指して、5 年以内に少なくとも 3,000 万世帯が高速インターネット網に、また 1,000 万世帯が超高速インターネット網に常時接続可能な環境を整備する予定である。また、2005 年のインターネット個人普及率が予測値の 60% を大幅に越えるよう、全ての国民がインターネットを使いこなせ、多

様な情報・知識を世界的規模で入手・共有・発信できることを目指している。このなかで情報通信の基盤整備項目として、2005 年までに 10 Tbps 級の光伝送のみによる通信の実現や、2005 年までに IPv6 のインターネット環境を実現可能とするための研究開発の推進を掲げている。

韓国では、1995 年の超高速情報通信網構築計画のもと、2010 年までに全国的な超高速通信網を構築して、光ファイバーを中心に既存電話線の高速度デジタル化や CATV 等のネットワークによる高度情報通信利用環境の構築を目指している。2000 年の時点で、超高速通信網は現在ソウル、プサンを含む約 80 の主要地域へ拡大し、2005 年までには計画を完了させる予定である。

インドネシアのヌサンタラ 21 計画とは、1997 年に立案された国内の群島を高速バックボーンで結ぶプロジェクトである。国内を 6 地域に分け、それぞれに 115 Mbps ないし 2.5 Gbps の光ファイバーをループ状に敷設して、さらにこれを 2.5 Gbps ケーブル及び国内衛星 Palapa で接続して、全国高速網の構築を目指している。

香港は 1998 年よりデジタル 21 に沿って、電子商取引やソフトウェア開発などの情報通信技術開発・応用の先進都市、マルチメディアを基盤とした情報エンタテインメントの中心都市を目指している。そのうち、ハイテク産業基地の建設はサイバーポート計画、技術教育・研究・産業の総合都市建設はサイエンスパーク計画と呼ばれている。2001 年にはサイバーポート中核設備が完成予定、1999 年 11 月からはサイエンスパーク計画が公式に開始されている。

タイは 1995 年に IT2000 プロジェクトを立ち上げ、全ての国民が平等に利用できる全国情報インフラの構築を計画している。政府情報ネットワーク GINet は 14 中央省庁のネットワーク化を完了し、2000 年までに全地方政府をネットワーク化すると計画にうたっている。また、タイ科学技術研究ネットワーク ThaiSARN III は 1999 年の時点で全ての国立大学の接続を完了している。

シンガポール・ワン計画を進めてきたシンガポールでは、既にインターネットによる教育プログラムや電子商取引の導入段階に入っている。2001 年までに遠隔教育、電子図書館、高速インターネット、電子商取引の各サービスを家庭向けへ提供、また、公共サービスを提供する電子キオスクを公共スペースに設置することを計画している。2004 年までの第二段階で、情報通信インフラをさらに増

強して、より多くのアプリケーションの提供などを盛り込む計画である。

アジアの IT 産業のハブを目指すマレーシアでは、2020 年には情報技術立国として先進国入りを目指す国家目標 Vision2020 を掲げ、その実現のために高度情報基盤整備 MSC (Multimedia Super Corridor) 計画を打ち出している。MSC は産業構造を製造業からサービス業や知識集約型産業中心へとシフトさせるため、クアラルンプール市内に建設中のシティセンター、同市郊外に建設中のプトラジャヤ新行政府、新空港を結ぶ地域に世界規模のマルチメディア企業を誘致し、ビジネスや研究開発の拠点化をはかろうという計画である。1998 年に新空港が開業された後、マルチメディア大学がサイバージャヤの中核部として 1999 年に開校された。また、サイバージャヤ、プトラジャヤの通信インフラは敷設工事が終了して、各施設には 2 Mbps の回線が接続された。情報通信関連企業に対する優遇政策のもと、同計画へ参加する企業誘致やアプリケーション開発に積極的に取り組んでいる。

フィリピンの IT21 計画は、アジアの Knowledge Center となることを目標に情報インフラ整備を進めるプロジェクトである。2001 年までの計画の第一段階では、フィリピン全ての政府機関、企業、学校、家庭へ情報インフラを整備することになっている。2000 年の時点で、既に 73 の政府機関がインターネットに接続済みで、多くがホームページを開設している。また、主に民間企業によって電話回線や光ファイバー網などのインフラ整備が進行中である。

### 1.4. インターネット 技術実証基盤

インターネットは規模の急激な増加、ユーザや利用目的に対する守備範囲の拡大、科学技術の発展、社会のインターネットに対する価値観の変化といった過程とともに、先に述べたような発展の歴史をたどってきた [12]。そのゆるぎない発展の歴史を支えてきたのは、1980 年代より継続して取り組まれてきた数々のインターネット技術の開発ならびにその技術に対する改善努力である。

こうした技術開発とその改善のプロセスでは、インターネットの開発に関わるエンジニアや研究者らが考案した技術を実装、テスト、評価するためのネットワーク環境が常に必要とされる。このネットワーク環境はインターネット技術実証基



盤環境と呼ばれている。ある特定のインターネット技術を開発・展開する上で、インターネットコミュニティは必要とされる技術実証のための環境を提供してきた。

インターネット技術実証基盤環境は、技術実証研究に取り組む組織を接続する物理的なネットワークそのものを指す場合もあれば、ネットワークの上にオーバーレイされた論理的なネットワークを指す場合もある。前者の代表的なものは、米国の STAR TAP<sup>2</sup> や Abilene<sup>3</sup>、カナダの CA\*net3<sup>4</sup> やヨーロッパの TEN-155<sup>5</sup>、日本の WIDE インターネット<sup>6</sup> や JGN<sup>7</sup> などが挙げられる。後者の例としては、MBone [13] や 6bone<sup>8</sup> などが挙げられる。

## 1.5. 本研究の意義

本論文は、通信ネットワークが未整備なアジア地域において、広帯域なインターネット技術実証基盤環境をアジア全域に短期間でかつ経済的に実現するための構築システムに関して研究した成果をまとめたものである。情報通信インフラが未整備なアジア地域に速やかに均一で広帯域な通信環境を構築するために、通信システムとして衛星通信システムを選択し、この衛星通信システムの最適構成法およびこれとインターネットを組み合わせたインターネット技術実証基盤環境の最適構成法を提案している。更に実際にアジア各国との間でインターネット技術実証基盤環境の実運用を行い、その有用性を実証している。

採用した衛星システムは VSAT 地球局を用いてメガビットクラスの通信帯域を提供可能な Ku-band と C-band の衛星回線網の併用方式とし、アジア域内通信に適したインターネットルーティング方式、VSAT 地球局の最適設計法および VSAT 運用監視・長期運用支援システムの確立が本論文で示した構築手法の核である。本論文で提案したシステムを実際にアジア地域で構築運用することにより、アジア地域全域にブロードバンド・インターネットを速やかに拡大することが可

---

<sup>2</sup>STARTAP : <http://www.startap.net/>

<sup>3</sup>Abilene : <http://www.ucaid.edu/abilene/>

<sup>4</sup>CA\*net3 : <http://www.canet3.net/>

<sup>5</sup>TEN-155 : <http://www.dante.net/ten-155/>

<sup>6</sup>WIDE : <http://www.wide.ad.jp/>

<sup>7</sup>JGN : <http://www.jgn.tao.go.jp/>

<sup>8</sup>6bone : <http://www.6bone.net/>

能となった。また、地域内の研究者や技術者らが円滑に連携してインターネット技術を実証研究可能な環境を構築することがこれまで以上に容易になり、アジア地域のインターネット技術の向上に大きく寄与している。

### 1.6. 本論文の構成

本論文は以下の5章から構成されている。

第1章では、本研究の背景として、インターネット技術実証基盤環境の役割について概説している。

第2章では、アジア地域におけるインターネットのインフラ整備事情について説明を行い、アジア地域へインターネット技術実証基盤環境を構築する上での問題点を記している。

第3章では、アジア地域へインターネット技術実証基盤環境を構築するにあたって、衛星回線網を用いたインターネット技術実証基盤環境の構築手法を提案する。提案する構築手法は衛星回線を利用することにより、通信衛星がカバーするアジア地域の任意の地点間で環境構築を短期間で可能としている。実用的な通信帯域幅として2 Mbpsを提供可能な周波数帯のうち、Ku-bandとC-bandを利用して1996年より衛星回線網を展開し、アジア8カ国を順次接続している。その上にインターネット技術実証基盤環境を実装することにより、構築手法がアジア地域へ適用可能であることを示している。

第4章では、構築したインターネット技術実証基盤環境の評価実験として1996年より2001年までの運用結果を述べている。また、世界で初めて衛星ネットワークを利用した国際的なインターネット技術実証基盤環境の運用の困難さを述べた後、本研究で構築したVSAT運用監視システムの有効性について述べている。さらに、構築した環境がアジア地域ネットワークとして、他の学術研究ネットワークと組み合わせて実際に有効活用されていることを述べている。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果を総括する。

## 第2章

# アジア地域におけるインターネット 技術実証基盤環境の必要性

本章では、アジア地域におけるインターネットインフラの整備状況を示すことにより、アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性について考察する。

### 2.1. インターネット 発展の歴史と技術実証基盤の意義

インターネット技術の研究開発を行う上で、技術実証基盤の存在は重要である。技術実証基盤は今日までのインターネットの発展に必要不可欠なものとして大きく貢献してきた。その必要性は日本における JUNET や WIDE<sup>1</sup> といった技術実証基盤の事例検証により再確認できる。以下、世界と日本におけるインターネット発展の過程におけるインターネット技術の実証基盤環境が果たしてきた役割について述べる。

#### 2.1.1 インターネット 発展の歴史と技術実証基盤の役割

インターネット発展の歴史は技術実証基盤とともにあったといえる。古くはインターネットの前身にあたる ARPANET [14] における TCP の実証研究からはじまり、米国の NSFNET による国際インターネットバックボーン構築運用、近

---

<sup>1</sup>WIDE プロジェクト : <http://www.wide.ad.jp/>

## 第2章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性

---

年では米国の Internet2<sup>2</sup> プロジェクトに代表される超高速インターネット技術実証基盤を用いた次世代インターネット技術や次世代アプリケーションの研究開発プロジェクトから、インターネットの発展に利する研究成果が産み出されてきた。

1995年4月に幕を閉じた NSFNET バックボーンサービスは、グローバルなインターネットバックボーンの役割を担いつつ、多くの研究成果や運用技術を送り出した。NSFNET 上では世界各国のインターネット基盤の相互接続ポイントとして大規模な経路情報が交換された結果、グローバルな経路情報の交換技術と運用技術が求められた。その要求に応えるべく、RADB や IRRd といった Internet Routing Registry データベースサーバ、相互接続ポイントに適した経路情報交換サーバ RSng や Routing Arbiter、経路情報ソフトウェア Gated など、多くの研究成果が NSFNET から生まれた。これらのプロダクトは、NSFNET というグローバルなインターネットバックボーンというスケールで運用されてこそ意義をもつプロダクトであり、その機能設計にあたって NSFNET で蓄積された運用上の経験や知識が活かされている。

図 2.1 に Abilene ネットワークのトポロジー図を示す。Abilene は産学官共同の Internet2 コミュニティによる新規アプリケーションの開発ならびに普及を支援する最先端の米国インターネットバックボーンネットワークである。Abilene では IP-over-SONET (OC-48c) バックボーンが 2001 年 10 月の時点で構築されており、DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) 光ファイバー網をベースに 5 Gbps のネットワーク帯域が利用可能となっている。2003 年後半にはバックボーンは 10 Gbps へ改善される予定であり、低遅延性が保証された高速ネットワークではじめて価値をもつアプリケーション開発が実証的に取り組まれている。

最後に、物理的なネットワークの上にオーバーレイによって構築された論理的な技術実証基盤の代表的な例である Mbone の貢献について述べる。

技術実証基盤の一つ MBone[15] は 1990 年代初頭に構築され、運用され続けている広域での IP マルチキャスト通信技術の技術実証基盤である。MBone では多数の IP マルチキャストアプリケーションの技術実証に取り組む一方で、DVMP[16] と呼ばれる経路制御プロトコルを用いてマルチキャストパケットの経路情報を交換している。その発端となったのは 1992 年 3 月のサンディエゴにおける IETF

---

<sup>2</sup>Internet2 : <http://www.internet2.edu/>



図 2.1 2001 年 10 月時の Abilene ネットワークのトポロジー図

の音声中継実験のときに構築されたノード 20 程度の仮設マルチキャストネットワークであった [17]。それより 8 年後の 2000 年半ばになると、DVMRP により交換される MBone の経路総数は、技術実証基盤への参加組織の増加にともなって 6000 程度にまで増え続けた。この経路交換を支えるマルチキャスト経路制御ソフトウェアは、MBone において運用、評価されてきた。例えば Xerox PARC によって配布されている mrouted、Merit が中心になって開発中の GateD、Cisco 製を始めとする専用ルータに搭載されたソフトウェアを例に挙げることができる。

MBone ではこれら経路制御ソフトウェア間の相互運用性を確認するとともに、DVMRP を用いた運用上の問題、例えば経路の安定性やトラフィックの氾濫といった問題点が明らかにされた。経路安定性の問題とは、ルートフラップと呼ばれる DVMRP の経路表においてメトリックが頻繁に変わるネットワークが観測されることをさし、発生の原因としてルータのバグが多いと考えられている。この問題への対策として、MBone に接続されたルータのルートフラップを監視しているサイトから Web でルートフラップ情報が公開されるようになった。

もう一つのトラフィック問題は pruning されていないネットワークでマルチキャ

## 第2章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性

---

ストパケットの氾濫が生じるという問題をさす。この問題は広域マルチキャストバックボーンである MBone が主に DVMRP という flood & prune 型のプロトコルにより構築されている点に起因している。MBone 上のルータは設定誤りあるいは経路制御プログラムの誤動作によって、しばしば prune を送らない状態になることが報告されている。また、前に述べたルートフラップが発生した場合、フラップが発生するたびに prune がクリアされてしまい、これも氾濫として認識される場合がある。MBone 全域の通信の全体量を推察することは困難ではあるが、prune を行わないルータが発生した場合に流入するトラフィックは、場合によっては 2Mbps 程度であることが MBone の運用経験上、わかっている。そこで物理的回線の帯域幅を使い切らないために rate\_limit と呼ばれる mrouted のパラメータを設定する必要があるが生じるが、逆に MBone トラフィックの帯域幅を制限することで氾濫時に多量のパケット損失が発生して、周辺におけるマルチキャストの通信品質を著しく低下させてしまう。したがって常に氾濫が起きていないかどうかを調べる必要がある。これを調べる方法として、SNMP に対応したマルチキャストルーティングソフトウェアを使用して、常にトラフィック量を監視するという方法が導入された。

上述したように MBone の運用を通じて、フラップしているルータを素早く発見して改善を促すための運用ノウハウが蓄積され、マルチキャスト通信のトラフィックが氾濫しないように常時監視するためにルーティングソフトウェアで SNMP 対応化が進んだ。

このように技術実証基盤 MBone は、映像や音声ストリームの大規模な配信時における問題を明らかにし、スケーラブルな配信技術を実証する基盤として役立っている。マルチキャストの利用者が増えるにしたがって急速に成長拡大するネットワークポロジとそこを流れる膨大なトラフィック量は、必然的に規模拡大性の問題を引き起こし、また、運用上の設定ミスによるパケット氾濫を招く。しかしながら、MBone の存在は決してマルチキャストの技術開発にマイナスを与えることなく、逆にマルチキャストの利用や新規技術開発を加速、推進することに役立っている [18]。

## 2.1.2 日本国内のインターネット基盤発展における技術実証基盤の役割

WIDE プロジェクトの前身にあたる JUNET は、1984 年より実験運用を開始した。JUNET は実験開始当初は草の根的な運用から始まったが、次第に参加大学や組織が増え、接続方式も UUCP 接続から IP 接続へ切り替わり、1992 年には JUNET 協会が発足した。その後、JUNET で開発整備された UNIX とネットワーク上での日本語環境に代表される成果をもとに、ネットワーク技術の研究主体は WIDE プロジェクトへ移り、1994 年に JUNET 協会は発展的に解消した。

JUNET が運用を開始した後の 5 年間に、それぞれの教育研究組織内での LAN 環境は著しく向上した。そのなかで、JUNET のネットワーク構築の経験をもとに、新しいコンピュータ環境のさまざまな側面についての研究開発を「広域大規模分散環境」というテーマにまとめて活動を開始したのが WIDE プロジェクトである。

WIDE プロジェクト (Widely Integrated Distributed Environment) は、コンピュータ・コミュニケーションを基盤とした新しいコンピュータ環境の構築を目標とする国内の産学研究コンソーシアムである。WIDE プロジェクトの研究者は、WIDE インターネットを用いた「実証的な基盤の構築」や「実際の運用を基盤とした実験活動」という方向性のもと、インターネット技術の研究開発に取り組んでいる。この方向性に応える基盤が WIDE インターネットである。図 2.2 に 2000 年 3 月時点の WIDE インターネットのトポロジー図を示す。

WIDE インターネットは大規模広域分散技術の実験ならびに実証基盤という目的をもつ、国内初のインターネット基盤として構築され、今日にいたるまで継続して基盤運用が続けられている。WIDE インターネットから生まれた研究実験成果や相互接続実験による IP ネットワークの普及拡大は、日本国内のインターネット基盤の発展を牽引してきた。

WIDE プロジェクトはこの WIDE インターネットの運用を同プロジェクトにおける重要な活動として位置づけている。インターネットは本質的に国際的な基盤として地球上のすべてのカバレッジをもっている。その特質である大規模分散環境の構築を試行するために、WIDE インターネットは 2001 年の時点で、札幌、仙台、東京、八王子、藤沢、浜松、小松、岐阜、奈良、大阪、京都、左京、倉敷、

## 第2章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性

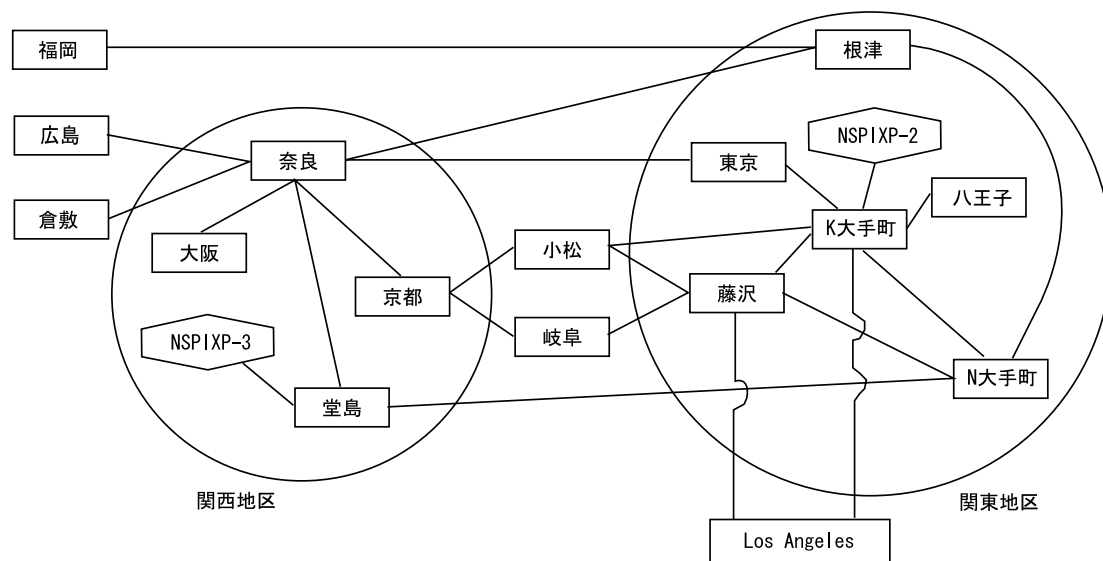


図 2.2 WIDE インターネット NOC 接続図 (2000 年 3 月)

広島、福岡、ロサンゼルスをつなぐ、WNOC (WIDE Network Operation Center) を運用している。そしてこれらを拠点として、WIDE インターネットは、約 140 の組織との共同研究基盤として機能するように、構築、運用されている。また、WIDE インターネットは 2 本の国際専用回線を用いて、海外のネットワークと相互接続を実現している。

この WIDE インターネットの基盤運用を通じて、WIDE プロジェクトからさまざまな研究成果が産み出されてきた。

1994 年は社会に広くインターネットが認識されはじめた時で、商用インターネットサービスが順調に発展した。これらの商用インターネットの相互接続がインターネット全体の性能に大きな影響を与えることは明白であることから、この問題を追求するためにネットワーク相互接続の実験が WIDE とサービスプロバイダの間で開始された。この実験は NSPIXP (Network Service Provider Internet eXchange Point) と呼ばれ、交換性能と経路制御、交換に関連する法規などを検討課題として実証的な手法を用いた研究活動が開始された。1995 年に NSPIXP-1 が WNOC 東京に構築され、米国における先行例を参考にしながら、第 3 層 (IP



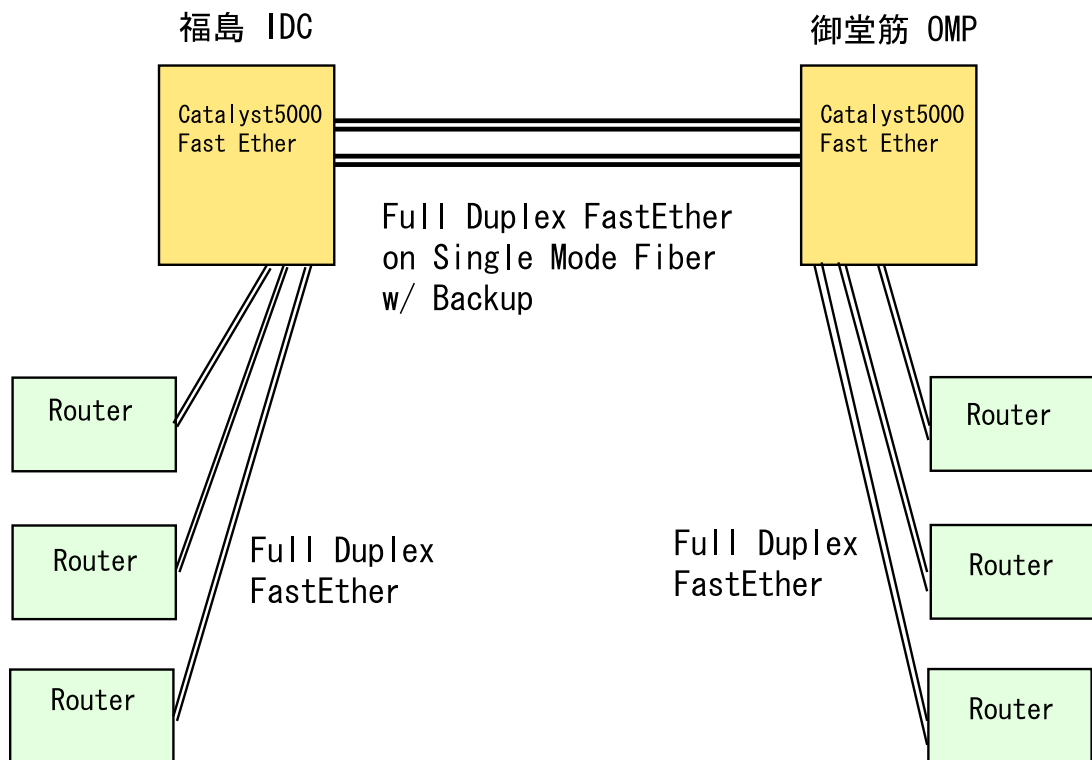


図 2.3 NSPIXP-3 における分散 IX 方式 (1997 年当時のトポロジー図)

層) における IX (Internet Exchange) として実験をスタートした。その後 IX における経路制御交換ポリシーに関する研究の結果、第 2 層 (データリンク層) への実験にシフトした。NSPIXP-1 は実験基盤技術としてスイッチ技術を用いた 10 Mbps の Ethernet を利用して、約 40 の商用インターネットサービスプロバイダを相互接続した。しかしながら商用インターネットを相互接続する IX としては十分な帯域ではなかった。そこで、現実的に IX として機能する実験基盤を用いた実証実験を目指して、NSPIXP-1 よりも高速なデータリンク技術である Full Duplex FDDI、Full Duplex FastEthernet、Gigabit Ethernet を利用可能な NSPIXP-2、NSPIXP-3 といった新たな実験基盤が相次いで構築された。図 2.3 に 1997 年当時の NSPIXP-3 のトポロジー図を示す。

NSPIXP-1 では、News Server のアプリケーション IX としての機能性を確認

## 第2章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性

---

する実証実験が行われ、また、経路情報サーバという新しいソフトウェアの開発環境として機能した。NSPIXP-2 では、大規模広帯域 IX の実験場として T3 や FDDI といった高速なデータリンク接続を商用 ISP から受け入れ、スケールの増大に対する対応方法を検討している。NSPIXP-3 では、関西の 2 地点を Full Duplex Fast Ethernet で結んだ初の分散 IX としてスタートした。また、1999 年より次世代インターネットプロトコル IPv6 のための IX 実証基盤 NSPIXP-6 が実験的に開始された。NSPIXP-6 へ接続された組織はお互いに IPv6 トラフィックと IPv6 経路情報を交換するといった、IPv6 ネットワーク各種の運用経験を得ることを目的にしている。また、IX ベースのアドレス割り当て実験、IPv6 経路情報サーバ、IPv6 マルチホーミングの実験基盤として機能することが期待されている。

NSPIXP で培われた一連の研究成果や実績、ノウハウは、商用インターネットサービスプロバイダーが提供する MEX<sup>3</sup> や JPIX<sup>4</sup> といった商用インターネットサービスプロバイダが提供するインターネット相互接続サービスへと技術移転が進むとともに、共同研究体制で ISP 各社と引き続き研究開発が行われている [19]。最近では IPv6 の実用レベルでの相互接続ポイントにおける実験運用やブロードバンド化に向けた広帯域化に対応した実証実験のほか、IX の運用技術の改善、IX に適したアプリケーション開発といった研究開発が継続して行われている。

1995 年 1 月 17 日に発生した阪神淡路大震災は、前年に米国のカリフォルニアで起こった震災事例とともに、都市型の広域災害において情報が水や電気、ガスなどと並ぶライフラインとして重要な役割を担っていることを示した。インターネットは本質的に被災地域の情報流通、被災地と外部との通信など、災害時の情報伝達手段として優れた特性を持っている。災害時に発生する通信の急激な混雑にも強く、また、無線やその他の通信手段との組み合わせによって、頑強な通信網を構築することができる。また、草の根レベルでの情報発信や伝達手段としても優れている。しかしながら、このようなインターネットの特性を活かし、災害時に有効に機能させるためには、技術的、運用的、制度的な課題を解決する必要性が

---

<sup>3</sup>MEX: <http://www.mex.ad.jp/>

<sup>4</sup>JPIX: <http://www.jpix.ad.jp/>

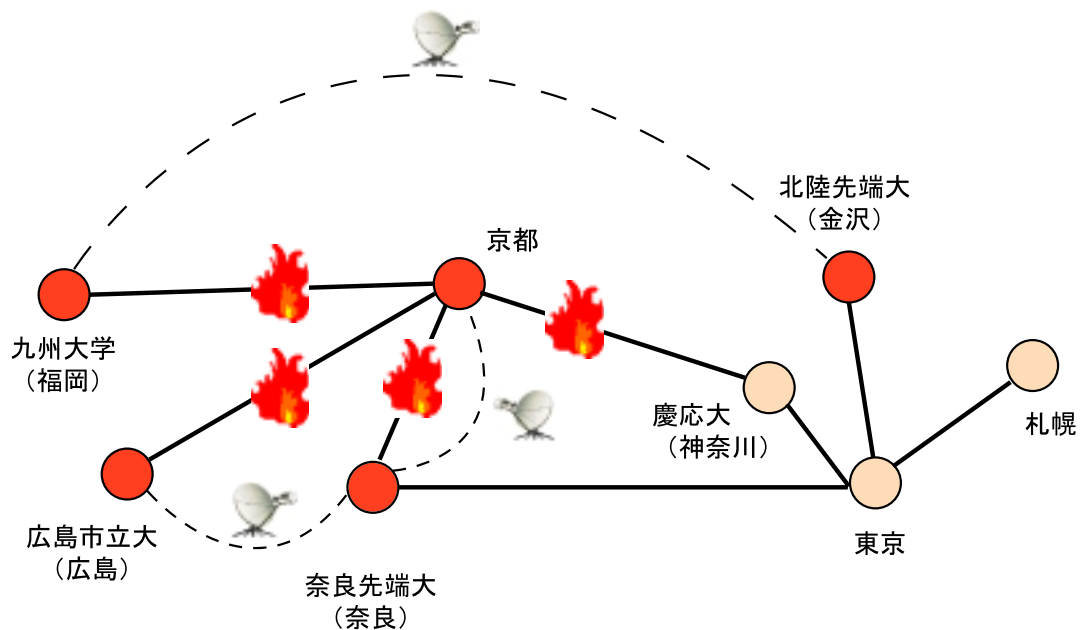


図 2.4 第 1 回インターネット災害訓練時に実施された「インターネットバックボーンの障害時の通信衛星による迂回路の設定訓練」: 図中、点線部が衛星回線により一時的に構築された迂回路

ある。

このような背景のもと、WIDE プロジェクトは WIDE インターネットを利用して 1996 年より実際に災害を想定した訓練を毎年実施している [20][21][22]。この訓練の目的は、災害時の対応をスムーズにするだけでなく、実際のオペレーションの中から多くの問題点を明らかにして、実用的なシステムの構築へフィードバックすることにある。また、このような訓練の実施は訓練参加者へ災害におけるインターネットの役割について改めて考える機会を与える利点を合わせもつ。

災害訓練では、「インターネットバックボーンの障害時の通信衛星による迂回路の設定訓練」、「生存者情報データベースへの登録および検索訓練」、「電話やファックスとインターネットの組み合わせによる情報の入力や検索機能」などのシステムを WIDE プロジェクトの研究者らが開発し、実験を行ってきた [23][24][25][26][27][28]。図 2.4 に 1996 年 1 月 17 日に実施された第 1 回インターネット災



図 2.5 第 5 回インターネット災害訓練時に実施された「生存者情報データベースへの登録および検索訓練」

害訓練メニューの一つ、「インターネットバックボーンの障害時の通信衛星による迂回路の設定訓練」の概念図を示す。この訓練は、1996 年 1 月 17 日午前 5 時 46 分に京都で地震が発生したと想定して、図 2.4 中の火災マークのついたリンクを同時刻に人手によりケーブルを抜くなどして切断、同日午前 6 時に福岡と北陸、広島と奈良、京都と奈良の合計 3 つのインターネット幹線路を通信衛星によって迂回する訓練であった。この迂回路の設定訓練は、WIDE インターネットという技術実証基盤があってはじめて実現できたといえる [20]。

また、WIDE プロジェクトが開発した安否情報データベースシステム (IAA システム) を用いた「生存者情報データベースへの登録および検索訓練」では、災害時に役立つ被災者支援アプリケーションとして、安否情報データベースシステムを投入し、普段からシステムを使えるように毎年訓練を行っている。この訓練

## 2.2. アジア地域におけるインターネット基盤の現状

では WIDE インターネットに接続された日本各地のサイトに配置する安否情報データベースサーバを毎回の訓練で利用している。

図 2.5 に 2000 年 1 月 16 日から 17 日に実施された第 5 回インターネット災害訓練時の安否情報データベースの配置位置を示す。図 2.5 にあるように、安否情報データベースは小樽、東京、石川、静岡、奈良、大阪、岡山の全国 7 箇所に設置された。これら 7 箇所に設置されたデータベースは WIDE インターネットを用いて NetNews のデータ同期機構を利用して瞬時に複製され、災害によっていずれのサーバが停止しても、残るサーバが安否情報の登録・検索サービスを提供し続けるようにシステムが構築された。また、岡山市では街頭へ Web 端末を設置して、一般の人に訓練への参加を呼びかけた。以上のように、技術実証基盤 WIDE インターネットは、安否情報データベースシステムを全国各地に配置、データ同期する上で、実証実験に必要不可欠の環境として利用されている。

## 2.2. アジア地域におけるインターネット基盤の現状

これまでにインターネット技術の研究開発を行う上で技術実証基盤が果たす役割とその重要性について述べた。ここでは、本論文で後述するインターネット技術実証基盤環境の構築をスタートさせる 1996 年から 1998 年当時のアジア地域におけるインターネットの普及状況と、当時のアジア域内の技術実証基盤の課題を述べる。

### 2.2.1 アジア地域全般

図 2.6 と図 2.7 に 1991 年と 1997 年における国別のインターネット国際接続事情を示す。これらの図を対比するとわかるように 1991 年より 6 年の間にインターネットに接続された国は大幅に増加し、アジア地域に位置する国を含む country domain の登録数も数を伸ばした。こうした各国インターネットを接続する国際バックボーンとして機能したネットワークが米国の NSFNET である。

NSFNET は 1988 年に カナダやデンマーク、フィンランドといった北欧諸国と国際接続したのを契機に、年を追うごとに接続国数を増やしていった。1991 年には T3 (44.736 Mbps) の帯域をもつ NSFNET を流れるトラフィックは 1 ヶ月の

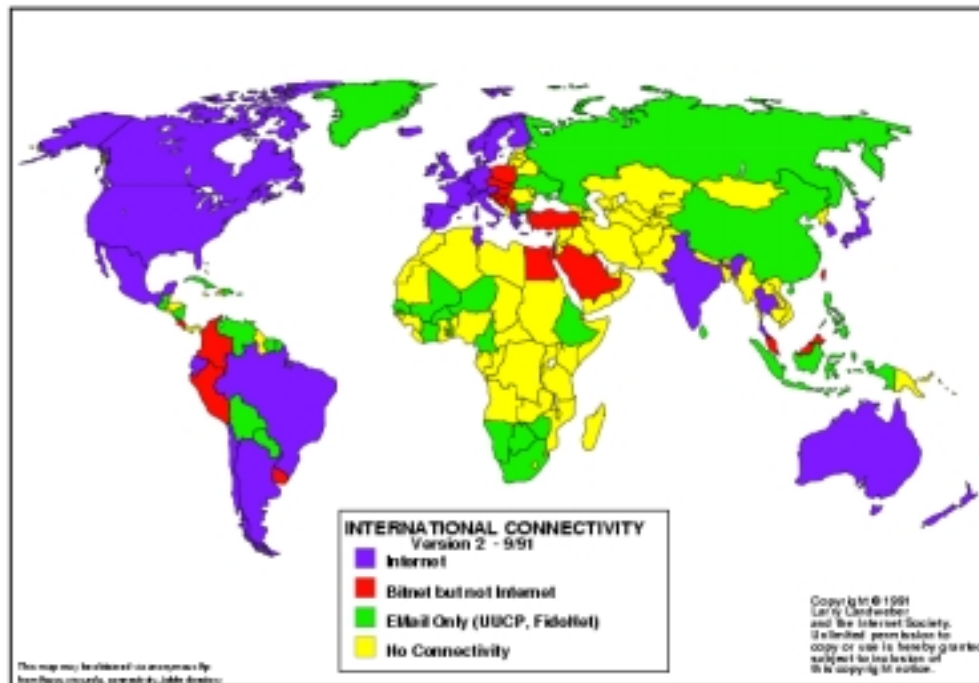


図 2.6 1991 年 9 月の国別インターネット接続状況

間に 10 billion パケット数を越えた [29]。そして 1995 年 4 月 30 日に NSFNET のバックボーンサービスは終了し、その役割を民間のインターネットサービスプロバイダへ譲った [30]。

このようにインターネットの重要性に対する各国の認知が高まっていく中で、米国を中心とした国際相互接続のネットワークポロジーを見直す動きが出てきた。例えば、1997 年に組織されたヨーロッパ各国を結ぶ DANTE プロジェクトの TEN-34（これは TEN-155<sup>5</sup> へと進展）や 1995 年にスタートしたアジア地域における商用インターネットハブ A-Bone<sup>6</sup> や SingTel IX<sup>7</sup> である。

<sup>5</sup>TEN-155 : <http://www.dante.net/ten-155/>

<sup>6</sup>A-Bone : <http://www.abone.net/>

<sup>7</sup>SingTel IX : <http://www.ix.singtel.com/>

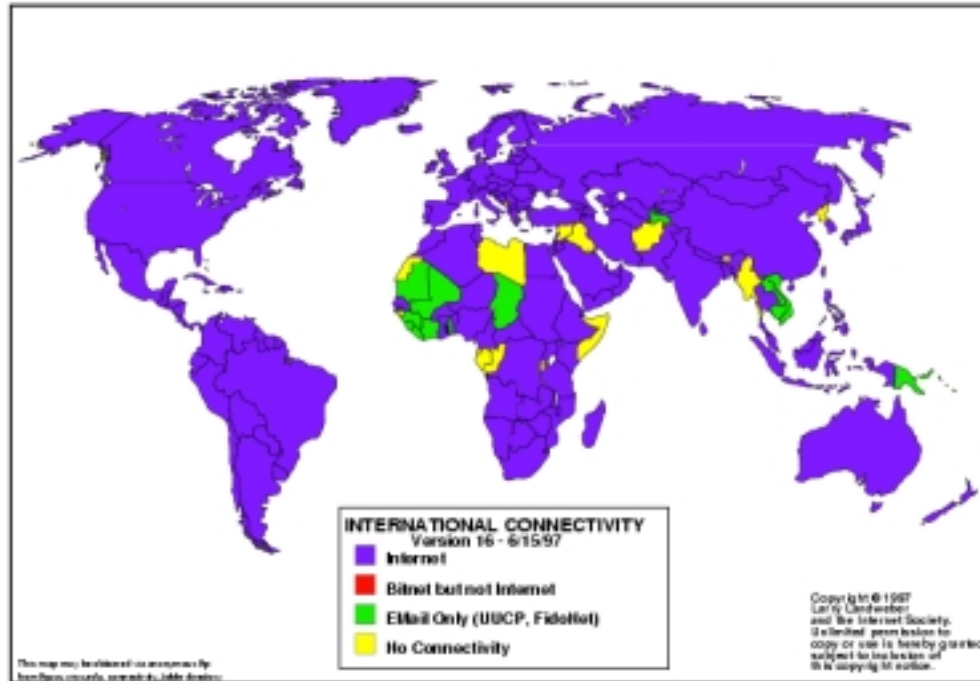


図 2.7 1997 年 6 月の国別インターネット接続状況

この背景として、技術的側面からは米国の国際バックボーンネットワークにおける輻輳や米国までの距離に応じて発生する長距離伝送遅延、SONET や光スイッチ技術といった短距離における高速ネットワーク技術の進展、そしてネットワーク相互接続からアプリケーション開拓へと開発の焦点が移ったことなどが考えられる。また、経済的側面からはヨーロッパや北米、南米といった地域における域内連携・協力の進展を背景に、地域情報ネットワーク整備の重要性が高まったためと考えられる。こうした動きはミクロなレベルで見ると、日本の国内ネットワーク事情における首都圏の IX と地域 IX の関係に置き換えて捉えることができる [31]。

その一方で、商用ネットワークバックボーンの拡大とともに学術研究ネットワー

## 第2章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性

---

クの整備に大きな進展の見られるヨーロッパや北米地域に比べると、アジア地域における R&D の域内基盤整備には大きな進展が見られない。アジア太平洋地域における各国の学術研究ネットワークの相互接続性は、依然として大部分が米国経由で実現されている。また、これを裏付けるデータとして、2000 年に発表された CAIDA プロジェクト<sup>8</sup>の Huffaker らによる論文 [32] から結論として記された次の 3 点を引用する。

1. 観測された RTT と IP ホップカウント数の間には、インターネット接続に関してほとんど相関が見られない。
2. アジア太平洋地域では、インターネット接続のトポロジー構成に重要な役割を演じる ISP の数はほんの少しである。しかしながら、これらの ISP だけがアジア太平洋一帯をカバーする全ネットワークを支配しているわけではない。
3. 調査対象となった世界各国や地域の 71% が米国を主要なインターネットトランジット先として利用している。ほとんどの二国間インターネット接続は米国を経由している。

ただしこの分析のもととなった計測データは、アジア太平洋諸国の主要な政府系、教育系、マスメディアの Web サーバのアジア太平洋地域の宛先アドレスを計測時に利用している。このことから、計測された経路はアジア太平洋地域の商用インターネットよりは、むしろ学術研究系や政府系のネットワークを経由している事例が多いと思われる。このように、アジア地域のインターネット基盤整備が進まなかった背景として、次の点を挙げる。

- NSFNET による国際インターネットバックボーン提供の歴史的経緯
- アジア地域の国際回線のコスト高
- 1998 年に起こったアジア通貨危機によるアジア経済の回復の遅れ
- アジア地域の多様な経済事情

---

<sup>8</sup>CAIDA : <http://www.caida.org/>



## 2.2. アジア地域におけるインターネット基盤の現状

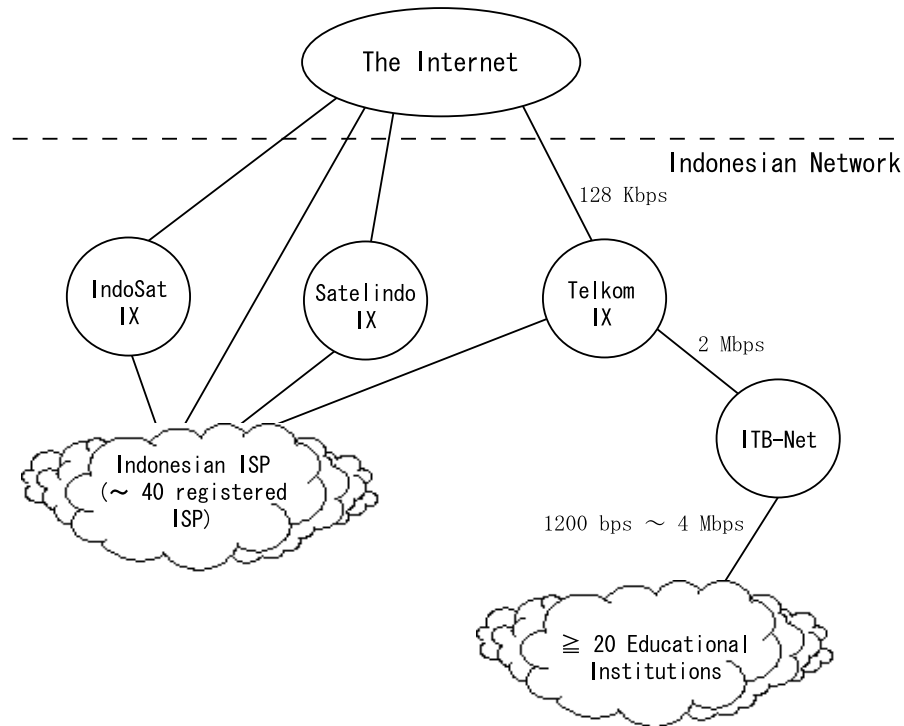


図 2.8 1997 年 6 月のインドネシア国内ネットワーク

- アジア地域の島国や高山といった多様な風土環境

次に、本論文に記すインターネット技術実証基盤環境によって接続されたアジア地域の主要国における情報通信インフラ事情について順次紹介する。

### 2.2.2 インドネシア

インドネシアでは 1995 年に通信が自由化され、インドネシア国内の通信業界市場へ私企業や外資企業の参入が許された。しかしながら、もっとも収益率の高い市場であるジャカルタ市とスラバヤ市は政府の PT Telkom が独占した。

アジア通貨危機がインドネシアを見舞う前に、インドネシア政府は同国が抱える多数の離島を結ぶ計画を立てていた。その計画は「Nusantara 21」と呼ばれる情報スーパーハイウェイ構想で、140 億 US ドルの投資を必要とするものであった。このプロジェクトは 1998 年のアジア経済危機により休止に追い込まれ、イ

## 第2章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性

---

インドネシア通貨の価値は一気に下落し、外貨の大量国外流出を招いた。これにともない、インドネシアの通信事業プロジェクトは1998年初頭より次々と遅延または延期となった。1998年の2月、インドネシア政府はジャカルタ市とスラバヤ市におけるPT TelecomのデジタルセルラーシステムDCS 1800とPHSネットワークサービスを他の移動電話計画とともに中断した。また、アジア地域を対象にインターネットとマルチメディアサービスを提供する移動体通信用衛星の打ち上げを中止した。国内ISPはかなりの緊縮財政状況下に置かれ、電気通信事業のマーケットの縮小にともない、大多数の国内ISPが倒産するか、または統合された。これにともない、国内R&Dネットワークが持っていた米国ならびにアジア諸国への海外インターネット回線は運用停止または帯域が極端に縮小されることになり、インドネシアのインターネット国際接続環境は学術研究、商業分野を問わず、大きく悪化した。

政治闘争と大統領の交代後、インドネシアの新政府は公平でより透明な入札方式を電気通信事業のマーケットへ導入することを宣言した。また、PT Telecomの25%を売却することによって外資導入による経済の建て直しを図ったものの、経済危機から立ち直れなかった。

図2.8に1997年6月のインドネシア国内のネットワークポロジを示す。インドネシア国内のインターネットへの総接続速度は20Mbps以上あり、40近くの商用ISPがインドネシア政府から認可を受けていた。IndoSat IX、Satelindo IX、Telkom IXという3つの主要な相互接続ポイントが運営され、商用ISPや各種ネットワークの国内トラフィックを交換していた。ITB-Netはバンドン工科大学(ITB)が運営するネットワークであり、インドネシア国内の学術教育機関の半数近い20以上の機関がITB-Netを通じてインターネット接続していた。

### 2.2.3 中国・香港

中国はここ数年の間、国内市場の開放と成長が相伴う形で進展した。中国政府はインターネットに大きな関心を寄せてきてが、今やChinese Information Infrastructure (CII)の構築を推進している。

商業インターネットプロジェクトは1997年当時は始まったばかりであったが、Chinese Ministry for Post and Telecommunicationsはグローバルインターネット

## 2.2. アジア地域におけるインターネット基盤の現状

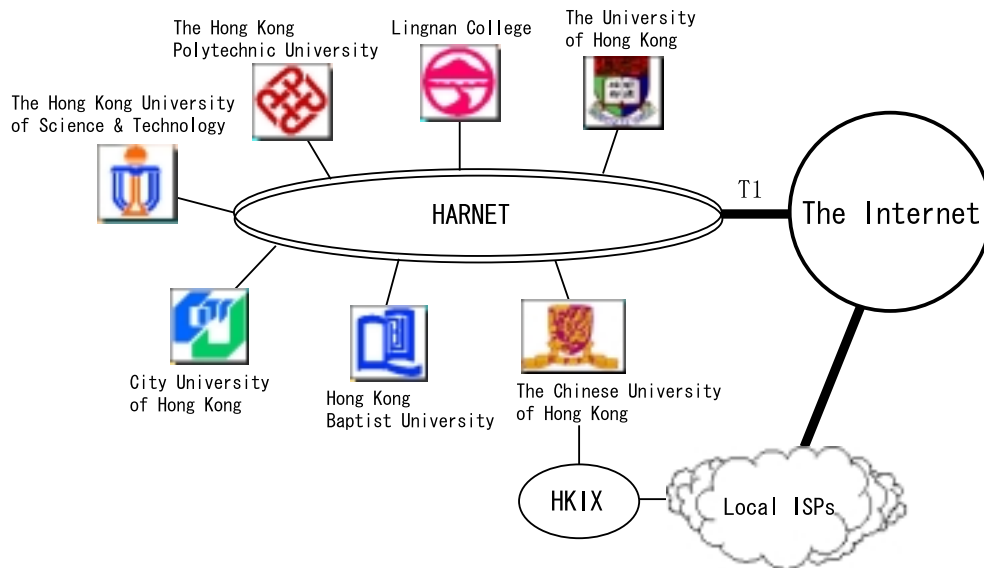


図 2.9 HARNET ネットワーク

と中国を結ぶ計画を展開した。

中国本土では、1075 の大学と 200 万以上の大学生がいる。しかしながら、1993 年まで国内学術研究バックボーンネットワークは一切計画されなかった。その結果、各大学は独自に接続先を探した。China Academic Network (CANET) が 1988 年に初めてグローバルインターネットと接続し、1990 年には China Research Network (CRN)、1993 年に Institute of High Energy Physics が米国とのインターネット接続を順次果たしていった。

1993 年の末に China Education and Research Network (CERNET) の計画がスタートした。CERNET は中国政府の財政援助による、国内初の学術研究バックボーンネットワークである。CERNET の目標として、国内の全ての大学と研究機関を接続するだけでなく、高校や小中学校の接続も計画に入っている。

CERNET バックボーンは、Ministry of Post and Communication によって提供されたデジタル専用線から構成され、通信速度は当初 64 Kbps から 2 Mbps でスタートした。CERNET からグローバルインターネットへ 4 つの海外線で接続され、うち 2 つは 128 Kbps と 2 Mbps の米国向け回線であった。また、CERNET

## 第2章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性

---

はドイツの学術研究ネットワーク B-WIN (DFN) へ 64 Kbps の回線で接続され、また、香港の HARNET との接続も計画された。

HARNET (The Hong Kong Academic Research NETwork) は香港の WIDE プロジェクトに相当する、香港の大学研究機関のコンピュータネットワークから構成された香港国内のネットワーク基盤である。図 2.9 に示す HARNET は 1996 年 11 月時の構成である。この HARNET へ香港の主要大学である香港大学、香港中文大学、香港科技大学、香港理工大学などが接続して、これら 7 大学のコンピュータセンターがオペレーションに参加している。HARNET は当初、参加大学をスター状に ATM バックボーンで接続した。中央の ATM ハブへの回線速度は 12 Mbps の ATM PVC リンクであった。1986 年に設立された後、1992 年に米国と 64 Kbps で IP 接続した。トラフィックの増加にともない、米国との接続速度は 64K、128K から、1.5M、6M、12M、24M、48M、72 Mbps へと毎年アップグレードされた。HARNET は 2001 年現在、72 Mbps の米国回線以外に、2 Mbps の中国 CERNET 回線、512 Kbps の台湾 TANET (The Taiwan Academic and Research Network) 回線をアジア地域向けに運用している。

### 2.2.4 タイ

1996 年にタイ政府は情報通信政策を政府の最優先課題としたものの、バンコク市周辺における公衆電話サービス網は 100 人に 10 回線程度の普及率にとどまっていた。当時のタイの情報通信市場はまだ規制緩和されておらず、タイ政府は WTO に対して 2006 年までに外資系企業に市場開放するように約束した。その基本計画には、Telephone Organisation of Thailand (TOT) や Communication Authority of Thailand (CAT) の段階的な構造改革が織り込まれていた。その後、この計画は前倒しされる形で、タイ政府は 1998 年の 3 月に情報通信市場の自由化を実施、タイが東南アジアの情報通信市場の中心へと成長することを期待した。

タイ国内のインターネットは徐々に成長する過程にあり、当時の中心的な国内インターネットサービスプロバイダーは Internet Thailand であった。1998 年 4 月、アジア経済危機の最中に、TOT はマルチメディアネットワークの敷設計画を復活させ、タイ政府も SONET/SDH 情報通信基盤を 2000 年までに準備する計画を後押しした。しかしながら、翌 1998 年 7 月に政府は情報通信分野への投

## 2.2. アジア地域におけるインターネット基盤の現状

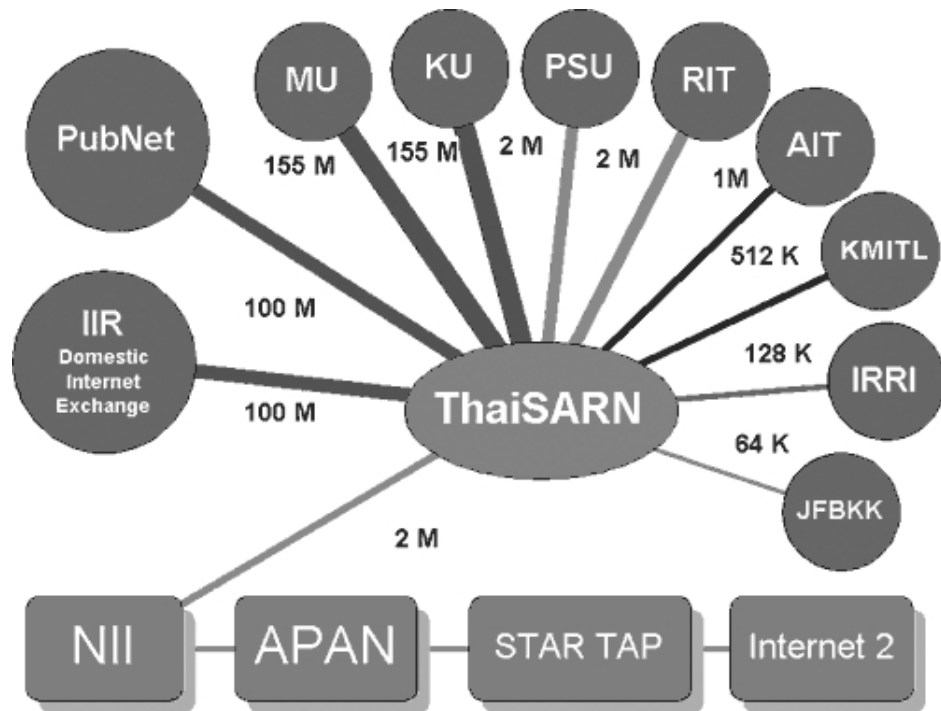


図 2.10 ThaiSARN ネットワーク

資を 15% 以上財政カットする方針を打ち出し、SONET/SDH 情報通信基盤の普及の展望に陰を落とした。

タイでは NECTEC (The National Electronic Computer Technology Center) が国内の情報基盤整備を担ってきて、学術研究ネットワークや商用ネットワークの発展を援助してきた。その NECTEC が中心となり、1992 年に ThaiSARN が設立された。ThaiSARN の最終目標は、タイ国内の全ての研究所、学校、図書館をネットワークで接続することである。発足当初の半年間はオーストラリアの学術研究ネットワーク AARNET (Australian Academic and Research Network) を利用していたが、1993 年に米国の UUNET と 64 Kbps で、1995 年には東京の NACSIS と E1 (2 Mbps) で接続している。

図 2.10 は 2001 年末におけるタイ国内の先端学術研究ネットワーク ThaiSARN のネットワークトポロジー図である。タイ国内におけるインターネットトポロジー

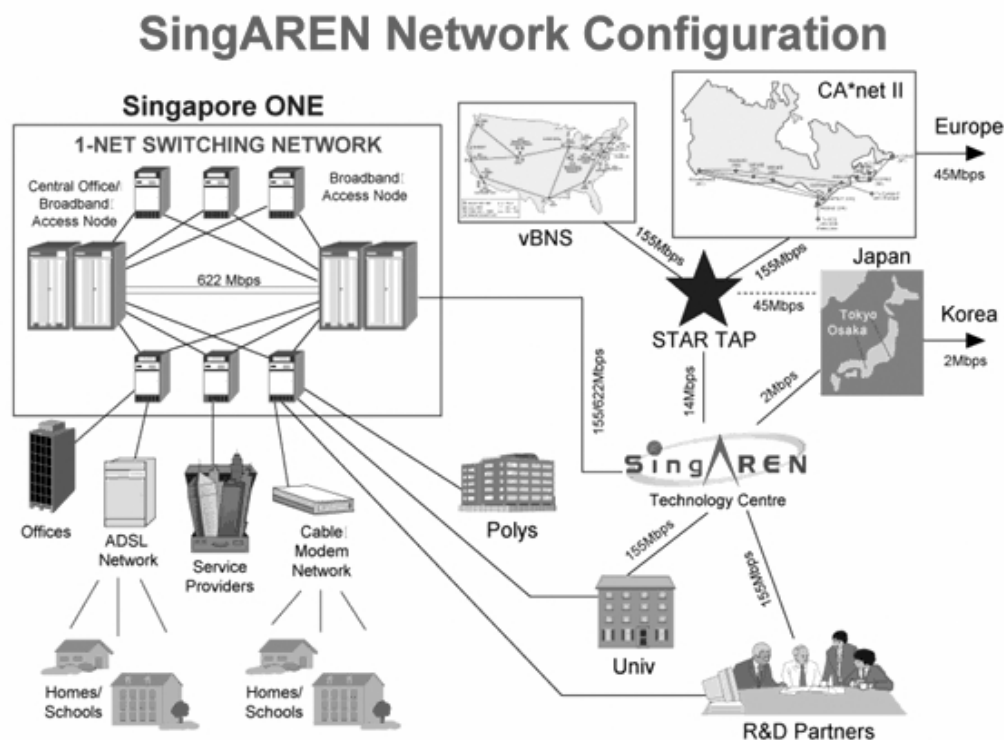


図 2.11 SingAREN ネットワーク

の変遷を追うことができる記録<sup>9</sup>によると、タイの商用インターネットを含めて、1998年当時は米国とカナダ、日本を中心とした海外インターネット接続トポロジーをもっていたことがわかる。

### 2.2.5 シンガポール

シンガポールは情報通信分野においてアジア太平洋の市場を常にリードし続けており、シンガポール政府はシンガポールをインテリジェント・アイランドへ変革する構想を描いている。

シンガポールでは Singapore Telecoms (SingTel) が唯一の地上系通信サービ

<sup>9</sup>Internet Connectivity in Thailand : <http://www.nectec.or.th/inet-map/>

## 2.2. アジア地域におけるインターネット基盤の現状

スの提供者であったが、この一社独占体制は 2000 年に終止符を打ち、British Telecom や NTT 等の海外通信企業との合併会社である Starhub へ 2 番目の通信事業ライセンスを許可した。

シンガポールのインターネットサービスとコンテンツプロバイダーに対して Singapore Broadcasting Authority はインターネットの利用上の重要な原則「Internet Code of Practice」を定め、その原則を守るように指導している。この原則はシンガポールへ流入するデータに公序良俗に反するような内容や公衆道徳に反するものやシンガポールの法律に違反する情報などが含まれていた場合、サイトへアクセスできないようにするものである [33]。

Singapore ONE (One Network for Everyone) 構想はシンガポールにおけるマルチメディア情報通信基盤として 622 Mbps のブロードバンド ATM スイッチネットワーク One-Net を擁し、ISP、コンテンツプロバイダや大企業などを高速接続する。家庭や一般企業からは One-Net へ ADSL やケーブルモデム、無線などによりブロードバンド接続する。1998 年の時点でおよそ 5000 世帯が One-Net へ ADSL またはケーブルネットワークでブロードバンド接続していた。

SingAREN (図 2.11) はシンガポールの先端学術研究ネットワークである。SingAREN は最先端ブロードバンドネットワーク技術やブロードバンドアプリケーションの研究開発に力を注いでいる。SingAREN は One-Net と 622 Mbps で ATM 接続している。

SingAREN は 14 Mbps で STARTAP と接続しており、STARTAP を経由して vBNS や CA\*net2、ESnet とも接続している。SingAREN は日本の APII ネットワークを経由して、韓国と 2 Mbps で接続している。

商用 ISP の視点から見ると、シンガポールは米国へ 45 Mbps の回線を 2 本、日本へ 8 Mbps を 1 回線運用している。1998 年当時の計画では、オーストラリア、香港、インド、韓国、マレーシア、中国、フィリピン、台湾、タイとそれぞれ 2 Mbps の回線で接続する予定である。こうした接続は商用インターネットの市場におけるトラフィックニーズに沿って規模が拡大している。また、1998 年末には、ヨーロッパと 2 ~ 4 Mbps の商用ネットワーク回線を結ぶ予定である。

### 2.2.6 マレーシア

マレーシアは西部のマレー半島と東部のボルネオ島に国土が分かれており、両者を隔てる距離は約 700 km 近くある。このため、マレーシア政府が国全体をカバー可能なネットワークを敷設するためには、大規模なネットワーク設備を調達する必要がある。マレーシアは国土全域をカバーする MEASAT I 衛星と MEASAT II 衛星を所有しており、遠隔地間の通信時にこれらの通信衛星が活躍している。

過去にマレーシアは情報通信分野の市場開放に消極的だったにも関わらず、国中の回線を所有する国営の Telekom Malaysia Berhad (TMB) が民営化された。こうした動きのなかで、マレーシアの情報通信政策における最大のプロジェクト Malaysian Multimedia Super Corridor (MSC) が始動した。MSC は情報通信技術のためのハイテクパークを指しており、このパークは 900 km 四方の土地へインテリジェントな市 Cyberjaya の構築を目指している。

TEMAN<sup>10</sup> はマレーシアにおける国の R & D プロジェクトの一つで、ブロードバンド ATM 技術に関する知識とノウハウの獲得を目標にしている。この TEMAN プロジェクトは 1997 に開始され、7 つの国内にある大学と研究機関、通信分野の会社が連携して研究開発に従事する、独自の ATM ベースの国内ブロードバンドマルチメディア実証実験基盤を持つ。ここで得られたブロードバンド技術やマルチメディアアプリケーションの成果は putrajaya や MSC といった他のブロードバンドマルチメディアプロジェクトへ反映される。TEMAN の ATM 幹線網の通信速度は開始当初は 155 Mbps でスタートしたが、プロジェクトが進行するにしたがって 622 Mbps へ増速される予定である。

TEMAN の ATM ネットワークはペナン島の USM 大学をスタートし、マレー半島を南北に横断する形でクアラルンプール近郊の大学や研究機関を接続している。東部のボルネオ島とは ATM 回線が繋がっていないため、ボルネオ島に位置する UniMas 大学は、TEMAN と接続する USM 大学や UPM 大学と MEASAT2 の衛星回線を使った遠隔教育などの共同研究を計画している。

---

<sup>10</sup>TEMAN : Testbed Environment for Malaysian Multimedia Applications and Networking



### 2.2.7 フィリピン

フィリピンは地理的に 7000 以上の島から構成されている。このため、人々はさまざまな方言を喋り、地方ごとに言葉の意味が変わることも多い。こうした風土的環境は首都 Manila を中心とした政治と文化を育み、また、国内の通信事情も同様に Manila 中心の接続形態をとっている。島間の接続はマイクロ波による無線リンクを使っており、海底ケーブルによる広帯域の恩恵に預かっていない。

フィリピンで初めて公衆のインターネットサービスがインターネットへ IP 接続した年は 1994 年である。1998 年当時、フィリピンのインターネットはほとんど商用先行型で、150 以上の ISP がサービスしている [34]。そのうち約 20 近くの ISP が独自に海外線を所有している。その大半が海底ケーブルを使った米国への専用線で 64 kbps から 2 Mbps ほどの範囲に帯域が分布している。米国以外に、香港やシンガポールへ接続する海外線もある [34]。

1994 年に米国へ 64Kbps の IP 接続を果たした PHnet は DOST<sup>11</sup> (Department of Science and Technology) が中心になって構築した国内の学術研究機関ネットワークである。当初、PHnet へ接続していた大学研究機関は 10 程度であったが、その後、PHnet は 50 以上の異なる組織へ構成メンバを増やした。PHnet は平行して次々と事業化された商用 ISP 数社と、国内で 64 Kbps といいた回線スピードで接続した。こうした国内接続の動きは 1996 年 5 月の Philippine Internet eXchange (PhIX) といった国内相互接続ポイントへ昇華した。PhIX<sup>12</sup> では、INFOCOM や MOSCOM、WorldTel といった国内主要 ISP の 8 社が 10 Mbps の Ethernet バックボーンルータを持ち寄って相互接続している。

国際接続における回線速度は商用 ISP 先行型で PHnet が 64 Kbps で米国へ接続する一方、商用 ISP の中には E1 リンクを米国と結ぶところもあった。一方、国際接続の選択肢は米国またはシンガポールであった。PHnet をはじめ、ほとんどのフィリピンの商用 ISP は Sprint、MCI や UUNet といった米国の主要 ISP と接続した。

<sup>11</sup>DOST : <http://www.dost.gov.ph/>

<sup>12</sup>PhIX : <http://www.phix.net.ph/>

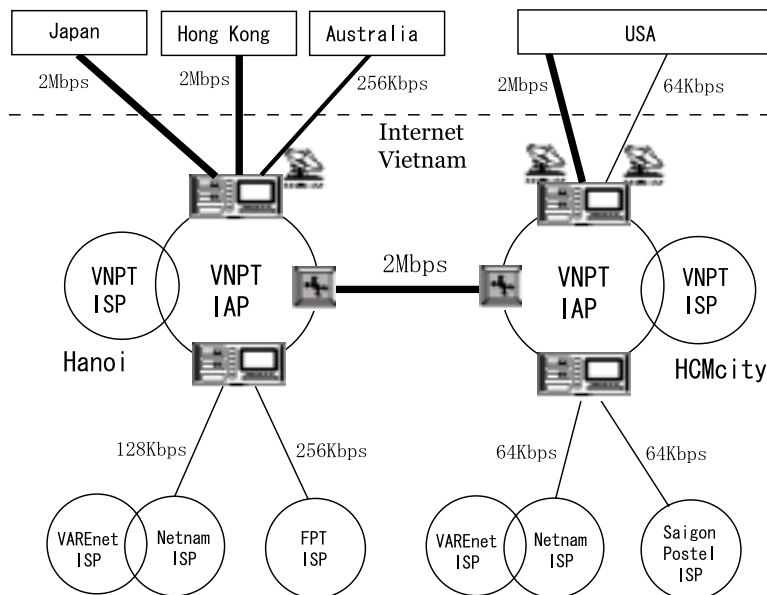


図 2.12 VAREnet ネットワークトポロジー

### 2.2.8 ベトナム

ベトナムは「竹のカーテン」と呼ばれるインターネット鎖国を続けてきたが、1997年以降、部分的な開放を進めてきたため、今日ではかなり多くの機関にインターネットユーザが増えてきた。その一方でベトナムの国内外のインターネット接続境界に導入されたファイアウォールによって、インターネット上の通信が制限されてきた [5]。

1999年、VietNam Posts and Telecommunications Corporation (VNPT) がベトナムにおいて海外インターネットへのアクセス権を唯一持っていた。図 2.12にあるように、海外線としてハノイ市に設置された Internet Access Point (IAP) からオーストラリアへ 256 Kbps、香港と日本へそれぞれ E1 (2 Mbps) が伸びている。また、ホーチミン市の IAP では米国へ 2 Mbps と 64 Kbps の海外線が運用されている。ハノイ市とホーチミン市の間は、2 Mbps の専用線で接続されている。そして VNPT へぶら下がる形で Netnam、FPT、Saigon Postel といった ISP が海外線を利用している。1999年当時のインターネット利用者数は 30,000人ほどと推定される。

この中で、VAREnet が非商用の学術研究ネットワークである。Netnam とともに 128 Kbps の回線を共有する形で VNPT が提供するインターネットアクセス網への接続を維持している。10 ほどの国内大学を VAREnet は接続している。

### 2.2.9 スリランカ

スリランカのインターネットの草分け的存在は 1989 年当時 LEARN<sup>13</sup> ( Lanka Education and Research Network ) [35][36] に参加していた大学組織である。1990 年より LEARN は UUCP によるメール交換サービスを開始して、学術研究機関だけではなく国際協力を行っていた人へもサービスを開放した。データ通信は当初、Sri Lanka Telecom に限定されていたが、1995 年の規制緩和によって国内で初めて商用 ISP が登場した。

1996 年以降の数年間で国内 ISP の数は 8 つに増え、LEARN ネットワークは 8 つの主要大学のうち 6 大学を専用線接続して、他の 6 大学をダイヤルアップ回線接続した。国内、海外ともに専用線速度は 64 Kbps に制限されていた。

2001 年の時点で LEARN はスリランカにある主要 9 大学のうち、6 大学をその基幹ネットワークへ接続している。基幹ネットワークは 2 Mbps の回線速度をもっており、64 Kbps で他の大学を収容している。LEARN の海外線は米国向け回線が 256 Kbps、シンガポール向け回線が 128 Kbps である。

一方、商用 ISP の例を見てみると、スリランカ国内の ISP の一つ LankaCom<sup>14</sup> は、2 本の 4 Mbps の衛星回線と 1 Mbps の地上回線を Singapore Telecom<sup>15</sup> が運営する SingTel IX へ接続している。SingTel IX は 33 ヶ国にある 40 以上の ISP と接続しており、中でも米国とは総容量 402 Mbps の海底光ケーブルと 2 本の 155 Mbps の通信帯域を持つ衛星回線で接続されている。スリランカからシンガポールへ接続した時点で回線帯域の格差が 100 倍以上に開いていることがわかる。

このような国内のインターネット基盤と海外線の事情のなかで、LEARN は常時輻輳状態におかれた海外線を有効に活用する方法を研究している [35]。例えば

---

<sup>13</sup><http://www.learn.ac.lk/>

<sup>14</sup><http://www.lankacom.net/>

<sup>15</sup><http://www.ix.singtel.com/>

Squid ベースの Web キャッシュ管理や海外線の帯域割当機構の開発などである。その一方で、LEARN ヘダイアルアップ接続している組織を専用線接続へ順次変更したり、専用線の回線速度をアップグレードするなど国内回線の帯域改善に努力している [36]。

スリランカの学術研究及び商用ネットワークは双方ともに海外線の帯域や国内のネットワーク整備状況が不十分な状態であり、回線帯域事情の改善とともにスリランカの学術研究組織によるインターネットを利用した国際共同研究の進展が期待されている。

### 2.3. アジア地域における技術実証基盤の構築へ向けて

先の調査結果と議論から導かれる結論として、アジア地域における学術研究系の地域ネットワークの整備が遅れていることがわかる。この理由として、離島や山岳地帯が多いアジアの風土的環境、一部の国における通信市場の閉鎖性、アジア各国の基盤投資の不均一性、そして 1998 年に起こったアジア経済危機による各国の IT 政策の計画遅延、1995 年までの NSFNET 体制による米国中心のインターネット接続トポロジー、アジア域内の国際線の高価な通信コストなどが要因として挙げられる。

その一方で、アジア地域では学術研究系、商用系ともに平行して各国内インターネットの基盤整備が進んでいる。アジア地域の海外線については、一部の商用インターネットサービスプロバイダがアジア地域を結ぶ地域内バックボーンを徐々に構築して、アジア地域で交換されるべきトラフィック需要を吸収するべく、商用サービスに乗り出している。この情勢の中、インターネットの基盤技術や先進技術に関わる実証実験をアジア各国の研究者らが実施する上で、次の問題に直面する。

- 米国を中心としたインターネット接続トポロジー
- 商用インターネットにおけるアジア地域を結ぶ通信回線の不均一さ
- アジア各国の国内通信網における基盤整備の不均一さ

### 2.3. アジア地域における技術実証基盤の構築へ向けて

---

インターネット技術の実証基盤は必要である。その一方で、先述したようにアジア地域へ技術実証基盤を構築するにあたって解決すべき問題点も多い。そこで次章では、本章で述べたアジア地域の現状に適した基盤構築のアプローチを選択した後に、アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境を構築する。

## 第2章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の必要性

---

## 第3章

# アジア地域におけるインターネット 技術実証基盤環境の構築

### 3.1. 目標

本研究にてインターネット技術実証基盤環境を構築する目的は、インターネット技術の実証を可能とする独自のネットワークをアジア地域に展開することにより、(1) 研究対象のインターネット技術の実証 (2) アジア各国間でインターネット技術の知識やネットワークの運用経験の共有 (3) インターネット技術の共同研究開発を目指す。あわせて、アジア各国のインターネット通信基盤の整備促進やインターネットを利用する研究活動の活性化を狙う。

### 3.2. 技術実証基盤の構築アプローチ

多様な風土的環境、経済事情、通信基盤事情を持つアジア地域へ、技術実証基盤を構築するにあたって、海底光ケーブルと陸上の通信基盤網を中心とした地上網とアジア地域をカバレッジに持つ通信衛星を利用した衛星回線網のいずれを採用するかについて、複数の視点から比較検討する。比較する視点として、(1) 新規性 (2) 広域性 (3) 基盤独立性 (4) 即時性 (5) 運用性 (6) 回線特性 (7) コストを挙げる。表 3.1 に比較検討した結果を示す。

新規性の視点から比較した結果、地上回線網を組み合わせた技術実証基盤は国内外を問わずに数多く存在する。一方で、衛星回線網を利用した国際的な技術実証基盤は他に存在しない。基盤技術に関する新規性は WDM や SDH / SONET

### 第3章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の構築

---

を使った場合は新しいものの、海底ケーブルネットワークや地上のファイバインフラが WDM や SDH / SONET 技術に対応するようにファイバへの設備投資が必要となる。一方で、Uni-Directional Link (UDL) や衛星リンクを用いた新たなマルチキャスト技術に代表される衛星インターネット技術は新規性がある。新規性の視点からは、どちらかといえば衛星回線網の選択が好ましい。

ここで WDM (波長多重伝送技術) とは、少しずつ波長の異なる信号光源 (半導体レーザ) を複数個 (現時点では 8 ~ 160 個) 用意し、そこから出力される光信号を一本の光ファイバ内に同時に伝送する方式を指す。一本の光ファイバの有する伝送容量を数十倍に拡大することが可能となる。さらに通信効率の良い DWDM (高密度波長多重伝送方式) は、米国本土の長距離市場や欧米の大陸間海底ケーブル市場で実験利用が進みつつある。

広域性の視点から比較した結果、衛星回線網は地上回線網に比べ、より広範囲の地域をカバーしている。これは、地上の通信設備が充実していないアジア地域や離島、山岳部といった地点も衛星のフットプリントに含まれさえすれば、通信可能となるためである。

例えば、図 3.1 に JSAT 株式会社が運用する JCSAT3 衛星のアジアゾーンビームのエリアカバレッジを示す。この図からわかるように、アジアゾーンビームを持つ通信衛星を利用すると、Ku-band なら日本を含め、東アジアと東南アジアを、C-band ならインド、ロシアを含むアジア全域およびハワイ、オーストラリア、ニュージーランド、インドの一部をカバーしている。

また、衛星を利用した通信の利点として、均一な回線帯域をもってアジア地域の任意の場所へ直接回線を引くことができる。衛星通信に関するライセンスが許可されれば、海底ケーブル事情や国内通信基盤の整備事情に関わりなく、インターネット技術実証基盤を通信衛星のカバレッジ内の任意の地点へ構築できる。したがって、広域性の観点では、衛星回線網の選択が好ましい。

基盤を構成する回線が複数キャリアかどうかは、アジア経済危機時のインドネシア事例のような、キャリア資本の縮退やキャリアの倒産といったリスクや、基盤を構成する回線運用の煩雑さを増す要因として考えることができる。この基盤独立性の視点から比較すると、地上回線網は国内キャリア、海底ケーブルキャリア、相手国内キャリアと基盤へ参加する国が増えるとキャリア数は増える傾向に



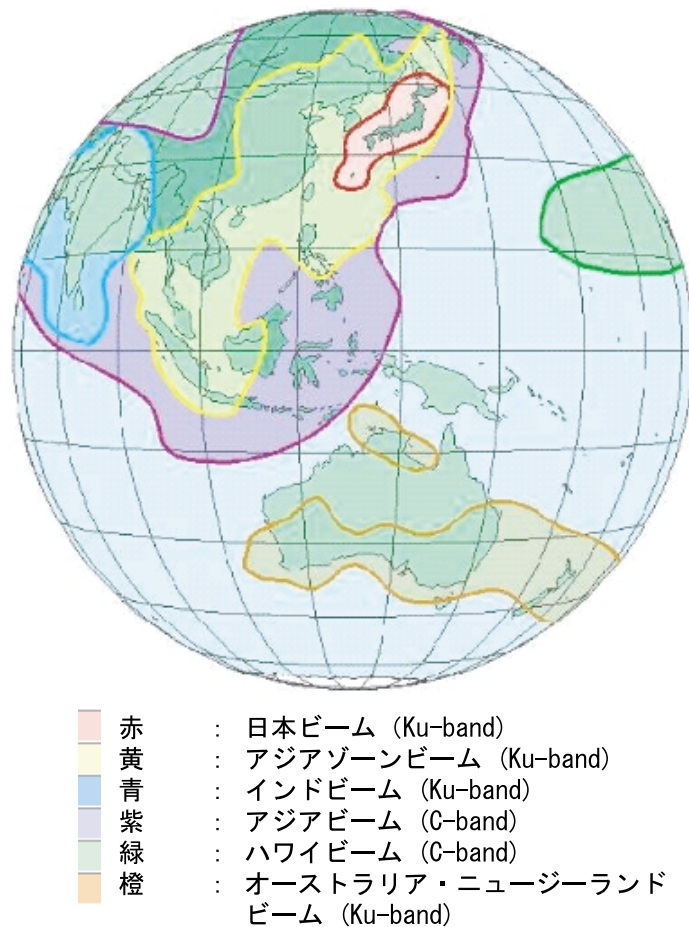


図 3.1 JCSAT-3 衛星のアジアゾーンビームの到達範囲

ある。一方、衛星回線網は単一キャリアに閉じて構成することも可能である。アジア地域の通信基盤整備が不均一な現状下では、衛星回線網の選択が望ましい。

即時性の視点から比較すると、衛星通信のライセンスが必要となるものの、離島や山間部でも利用可能な衛星回線網の方がアジア地域へ展開しやすい。ただし、地球局建設に約半年といった時間を必要とし、衛星通信のライセンス認可に数カ月の時間がかかる場合がある。したがって、ライセンスが取得できるという条件下において離島・山間部の地域を積極的に基盤へ加えるなら、衛星通信網の選択が好ましい。

### 第3章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の構築

---

運用性の視点から比較すると、衛星通信網の場合は通信衛星資源を守るために注意深い運用を必要とし、かつまた、地球局の運用を必要とする分だけ、運用は難しい。地球局運用の難易性に関しては評価を必要とするものの、基本的にどちらの選択肢も選択可能である。

回線特性面から比較すると、高遅延特性や降雨減衰といった衛星通信回線のデメリットが相対的に強調される。しかしながら、アジア地域における国際回線の通信帯域は数 Mbps オーダでも意義を持つこと、C-band を組み合わせるとともに、Ku-band における IP の利用評価は必要であること、即時性を必要としないアプリケーション開発に衛星回線網の利用は充分適していること、などといった理由から、どちらも選択可能である。

最後にコスト面の比較を述べる。初期コストはファイバ網のインフラ整備が進むアジア地域の都市部なら地上回線網は低コストであるが、通信基盤の整備を必要とする地域では新たな基盤整備を要するため高コストとなる。衛星回線網の初期コストは、アンテナ径が 1 ~ 2 メートルの Ku-band 地球局は数百万円オーダのため中コストと位置づける一方、アンテナ径が 4 ~ 6 メートルの C-band 地球局は数千万円オーダの初期投資を必要とするため高コストであるといえる。

また、運用コスト面では Ku-band 回線に比べると地上回線を利用した方が遥かに安価ではあるものの、C-band 回線費は対地国の国内通信基盤の市場状況によっては地上回線より安くなる場合がある。表 3.2 と表 3.3 にそれぞれ地上回線ならびに衛星回線を用いたアジア地域の国際線コストの参考見積金額を記す。参考見積は 2001 年 11 月の時点で行い、表 3.2 に KDDI 社の参考見積、表 3.3 に JSAT 株式会社の参考見積を引用した。例えば、これらの表から日本とベトナムの回線費用を比較すると、8 相 PSK の変調緒元による 1.5Mbps/512Kbps の C-band 回線は、2Mbps の地上回線と比較して年間あたりの運用コストはあまり変わらない。

以上の 7 つの視点から、アジア地域にインターネット技術実証基盤を構築するにあたって地上回線網と衛星回線網のどちらを選択するかを検討してきた。双方ともに長所、短所はあるものの、アジア地域の特色を考慮して(2)広域性と(4)即時性を最優先する形で、衛星回線網を利用した技術実証基盤を構築する。

衛星通信を利用する追加メリットとして同報性や対災害性の確保がある。同報

### 3.3. 衛星通信方式に基づく基盤構築にあたって解決すべき課題

性については、アジア地域におけるマルチキャスト網が整備されていないことから、シンプルなネットワークポロジーマットで、アジア地域におけるマルチキャスト技術の技術実証基盤としての役割が期待できる。また、地上回線の場合は途中経路に災害が発生した場合、通信路がダメージを受けて通信できなくなる恐れがある。衛星通信の場合は、通進路の端点にあたる地球局の設置場所ならびに静止軌道上の通信衛星が被害を受けない限り、災害時に通信路を確保し続けることが期待できる。

そこで本章の次節以降では、多様な風土的環境、経済事情、通信基盤事情を持つアジア地域へ均一の回線帯域を持つ通信路を一定期間内に構築可能なアジアゾーンビームを持つ通信衛星を利用して、アジア地域へインターネット技術実証基盤環境の構築を実際に試みて、本研究の提案内容の実現可能性を実証する。

### 3.3. 衛星通信方式に基づく基盤構築にあたって解決すべき課題

ここでは、衛星通信方式に基づく基盤構築にあたって、解決すべき問題点を3点述べる。すなわち、(1)衛星セグメントにおける無線周波数に関する問題、(2)適切なネットワークポロジーマットとルーティングに関する問題、そして(3)持続的な国際協力の実現に向けてどのような問題点が考えられるか、について述べる。

#### 3.3.1 衛星セグメントにおける無線周波数

アジア地域において情報基盤を速やかにかつ均一に展開する最も効果的なアプローチは、アジアという多様な環境条件を柔軟に吸収できる衛星通信技術を用いた方式である。衛星通信は衛星のもつ通信カバレッジのもと、任意の2地点間を素早くかつ直接結ぶことができる。アジア地域は多数の山岳地帯や離島からなる国を多く含み、地上の通信基盤がインターネット利用に即するほど十分に投資されていない国も多い。

Megabit クラスの通信速度を提供する無線周波数として Ku-band と C-band

がアジア地域では利用可能である。Ku-band は場所が固定された地球局における衛星通信サービスに利用できる。しかしながら、Ku-band のサービスは降雨減衰に対して弱いという特性を持つ。アジア地域では、亜熱帯地域に強い雨期を迎える国がたくさんあり、こうした地域では C-band が利用される事例が多い。他方、雨期の関係から C-band の利用はアジアですっと普及しているものの、衛星通信に C-band の利用が許可されない国も存在する。また、C-band は太陽雑音による回線品質の劣化を受けやすい。アジア地域において衛星通信を利用したインターネット技術実証基盤を展開する際に、適切に無線周波数を選択する必要がある。

#### 3.3.2 ネットワークトポロジとルーティング

アジア地域に展開するインターネット基盤に関して議論する際に重要な点は、アジア地域内のインターネットワーキングによってアジア諸国がインターネット技術の研究開発に関する経験や知識を共有できることである。前章で振り返ったように、1996年から1999年当時、アジアにおける多数の国と地域は欧米への直接リンクを持つ一方で、アジア諸国内でのリンクはほとんどなかった。しかしながら、アジア諸国における共同作業の需要が高まるにつれて、一般の通信媒体としてインターネットを利用したいという要求が増えてきた。

このような状況のもと、多くの人々が大きな RTT ( Round-Trip Time ) 値とアジア地域内の通信路の帯域不足に苦情を訴えるようになった。なぜなら、アジア諸国間に敷設されたインターネット用の海外線はたいへん少なかったからである。この点に着目して、アジアの域内通信にふさわしいネットワークトポロジを考える必要がある。

#### 3.3.3 持続的な国際協力の実現に向けて

構築されるインターネット技術実証基盤は、単なる実験装置としての位置づけだけではなく、アジア諸国においてインターネットに何らかの形で関わる人々の共同作業を加速するための情報基盤としても機能することが期待される。

これまで日本からアジア諸国へ国際協力に必要な環境を提供する典型的な

アプローチは寄付方式であった。しかし寄付方式は次に述べる問題を包含している。このアプローチは簡単に一方的な「giver-receiver」の関係に陥りやすい。ここで言う giver は機材の供給により重点を置く傾向にある。その一方で、むしろ receiver は長期間にわたって開発を持続できるように、技術移転と技術協力を求める。すなわち、この関係は技術やノウハウの移転を生むことなく、また発展途上国における receiver の環境に適した開発環境の提供を産み出すことなく終わってしまうという問題を引き起こす。

インターネット技術実証基盤を利用した持続的な国際協力の実現に向けて、参加するパートナー間での技術移転がスムーズに実施され、パートナーが知識とノウハウをお互いに学習することができるパートナーシップが確立されることはたいへん重要である。

## 3.4. 問題解決にいたる本研究のアプローチ

先述した解決すべき問題点に対する本研究のアプローチをここで述べる。

### 3.4.1 衛星セグメントにおける無線周波数

本研究では、できる限り広範囲にアジア諸国間を結ぶ衛星リンクを構築する上で、2つのフェーズへ分けた基盤展開プロセスを採用する。第一フェーズは Ku-band を利用する。第2フェーズは Ku-band へ追加する形で C-band を利用する。

第1フェーズでは、雨期をもつアジア諸国に対して Ku-band の利用に挑戦する。このフェーズでは、インドネシアといったアジア諸国における大多数のユーザは Ku-band 回線をインターネットバックボーンに適用することを疑問視している。しかしながら、それは一般の通信品質 99.99 % のリンク稼働率を要求される回線の場合であり、インターネット利用の場合は必ずしも常時接続できなくとも、自動経路制御により迂回路を利用したりすることで十分に利用できる。また、Ku-band の降雨減衰という回線特性から、アジア地域における周波数利用において C-band が多く利用されており、限りある無線周波数帯の有効利用 [37] のために Ku-band の周波数帯の利用開拓もあわせて狙う。

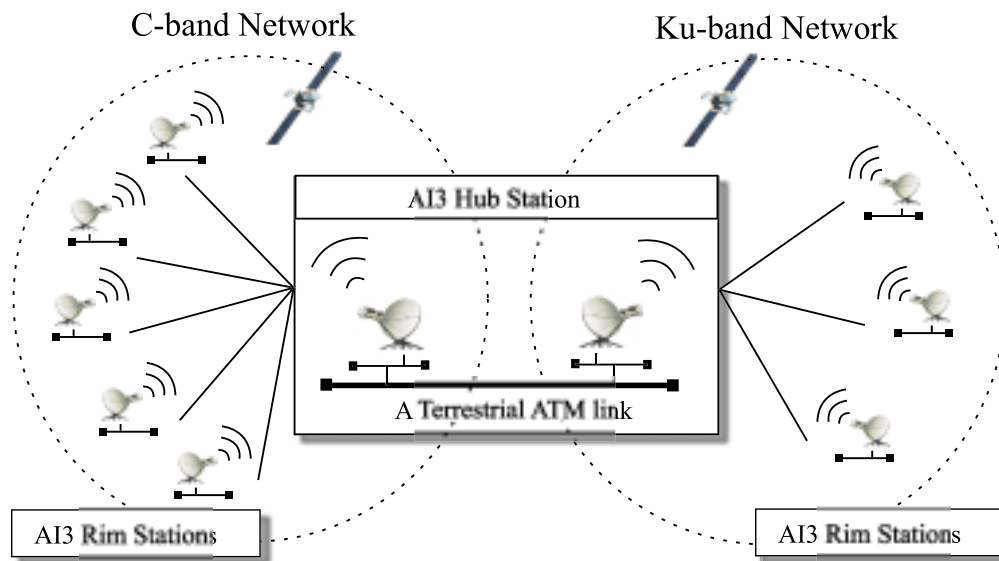


図 3.2 AI³ ネットワーク

第2フェーズではC-bandへ無線周波数帯を拡大する。C-bandを利用する第2フェーズの目標として、第1フェーズで研究開発した技術をKu-bandと同様にC-bandにも適用可能かどうかを実証することを考える。また、Ku-bandに比べてC-bandだと参加しやすい他のアジア諸国も取り込み、より広範囲のアジア地域へインターネット技術実証基盤を展開することを目標とする。C-bandには太陽雑音に影響を受けやすいという弱点があるが、太陽雑音に関する情報を基盤利用者間で事前に共有することで一時的な回線断に対する不安を払拭する。

### 3.4.2 ネットワークトポロジーとルーティング

アジア域内通信のトラフィックを効率的に運ぶために、インターネット利用が激しいアジア諸国に対して直接リンクを張る方式を採用する。最初に、インドネシア、香港、タイへ日本からKu-band回線を利用してそれぞれ接続する。次にC-band回線を用いて、シンガポール、マレーシア、フィリピン、ベトナムと日本をそれぞれ接続する。最後に日本においてKu-bandとC-bandのネットワークを図3.2のように接続する。これをAI³ネットワークと呼ぶことにする。また、

図 3.2 にあるように、日本に設置された地球局を AI<sup>3</sup> ハブ局、アジア諸国に設置された地球局を AI<sup>3</sup> リム局と呼ぶことにする。

Ku-band ネットワークと C-band ネットワークを結ぶ日本の地上回線としては、Ku-band と C-band で交換されるトラフィックを充分転送可能な帯域を持つ専用線であればよい。日本の地上専用線としては、インターネット用の高速回線として日本国内で普及している ATM 回線を利用する。

実際に Ku-band と C-band ネットワークの間でインターネット上のトラフィックを交換するために、先の ATM 回線と全てのハブ - リム局間の衛星回線上で IP ルーティングを実施する。インターネット経路制御プロトコル OSPFv2 と BGP4 による経路交換を衛星回線上でフィールドテストすることを兼ねつつ、アジア域内の衛星リンクが有効に機能するかどうかを検証する。

日本と他のアジア諸国を結ぶ衛星回線の RTT 値は約 500 ms である。日本のハブ局間の ATM 回線の RTT 値は 30 ms である。したがって、このネットワークトポロジーで構成されたアジア域内通信に要する RTT 値は最小で 500 ms、最大で 1030 ms と見積もることができる。米国経由のネットワークトポロジーと比較すると、RTT 値自体はそれほど改善されていないものの、インターネット技術実証基盤の運用に閉じる形でコンスタントな RTT 値を期待できる。すなわち、欧米といった他の地域との通信トラフィックといった外乱の影響を受けない利点を有している。

このトポロジーにおいて、全ての衛星リンクは非対称の通信帯域幅を設定された回線とする。インターネットアプリケーションのトラフィック特性は非対称性をもつ。特にインターネットアプリケーションとして支配的な WWW は、ダウンストリーム側のトラフィックがアップストリーム側のトラフィックより圧倒的に多い。そこで、ハブ - リム局間を結ぶ衛星回線に 2 Mbps の帯域を割り振る際に、ハブ局からリム局への送信帯域として 1.5 Mbps、リム局からハブ局への送信帯域として 512 Kbps を通信効率を考えて割り当てることとする。この画一的な通信帯域割り当ては初期設定値であり、衛星通信会社の許可のもとで帯域割り当てを必要に応じて柔軟に変更することができる。また、仮に各リム局からハブ局へ向けて送信される最大トラフィックが 512 Kbps の場合、図 3.2 のリム局数からすれば 512 Kbps × 8 局となって合計 4096 Kbps のフローが地上の専用線

に流れ込む。リム局からハブ局へ向けて送信される帯域が 512 Kbps の場合、その倍の 10 Mbps の帯域が確保すれば充分である。

#### 3.4.3 持続的な国際協力の実現に向けて

先述したように、本研究のインターネット技術実証基盤を国際協力に利用する上で、技術移転と対等なパートナーシップは重要である。インターネット技術実証基盤をアジア地域に実際に構築する前に、本研究では AI<sup>3</sup> プロジェクトと呼ばれる国際研究コンソーシアムをアジア諸国のインターネット研究者らと形成し、かつそのプロジェクトにおける AI<sup>3</sup> パートナーと呼ぶ概念を導入した。

VSAT 地球局の購入、衛星通信に関するライセンス取得を始めとする全ての局所的な交渉業務、調達、運用は、日本を含めたアジア各国の AI<sup>3</sup> パートナーが責任をもって達成する。その一方で、AI<sup>3</sup> プロジェクトは基盤運用に必要とする衛星を利用した通信帯域をまとめて確保して、かつ、全ての AI<sup>3</sup> パートナーへ関連する技術を提供する。この AI<sup>3</sup> プロジェクトへ参加する際に締結する Memorandum of Understanding (MoU) の雛形を付録として添付する。

このフレームワークのもと、AI<sup>3</sup> パートナーとしてインターネット技術実証基盤を構築するアジア諸国からインターネット技術関連の研究機関を 8 グループ招聘し、結果として本当に AI<sup>3</sup> プロジェクトを必要としているグループとなるように選別する。AI<sup>3</sup> プロジェクトを構成するメンバーは日本とアジア諸国という関係ではなく、対等なパートナー関係を保ち、プロジェクトに関連する情報はメーリングリストと Web ページを通じて情報を共有する。また、衛星回線の帯域割り当てといった重要な項目については 1 年に 2 回開かれる定例会議において議論された後に決定される。

地球局の準備に際して、AI<sup>3</sup> プロジェクトは地球局の要求仕様を情報として AI<sup>3</sup> パートナーへ提示する。スリランカのコロンボ市における C-band 地球局に対する必要最低限の要求仕様を表 3.4 に示す。こうした要求仕様に沿って AI<sup>3</sup> パートナーに各自の地球局を自力調達させることにより、調達、コスト、保守、そして運用といった各国の現地事情にそくした設備導入を狙う。



## 3.5. 衛星通信方式による技術実証基盤 AI<sup>3</sup> ネットワークの実装

ここでは前節で示した問題解決へのアプローチにしたがって、衛星通信方式によるインターネット技術実証基盤 AI<sup>3</sup> ネットワーク [38][39] のアジア地域への実装について述べる [40]。

### 3.5.1 通信衛星と衛星回線

先述したように Ku-band と C-band の衛星回線を利用する上で、今回の実装では JSAT 株式会社<sup>1</sup> が運用する、アジアゾーンビームをもつ JCSAT-1B と JCSAT-3 衛星をそれぞれ利用する。それぞれの衛星で利用するエミッションタイプ ( type of emission ) を表 3.5 と表 3.6 に示す。全ての衛星回線の通信速度は前節で述べたように非対称となっている。衛星回線のリンクバジェットの設計例を表 3.7 と表 3.8 に示す。

Ku-band は降雨減衰という回線特性を有する。そこで、Ku-band 回線の設計にあたっては降雨減衰の影響を受けにくいように clear sky margin 値を大きく取ることとする。設計の結果、表 3.7 の日本とインドネシアを結ぶ Ku-band 回線のリンクバジェットにおける clear sky margin は、日本からインドネシアへの回線が 8.8 dB、インドネシアから日本への回線が 10.0 dB 得られることとなった。回線品質要求として C/N 比が 7.0 dB を満足するように、符合化はビタビ 3/4 FEC の QPSK 方式を採用した。

一方、C-band は降雨減衰に対して強い回線特性を有しているため、clear sky margin は小さな値でも充分である。そこでアジア地域で利用が多い C-band の消費帯域ができるだけ少ないように、clear sky margin 値を C-band 回線向けに設計した。例えば、日本 - シンガポール回線のリンクバジェットを示す表 3.8 にあるように、日本からシンガポール向けの回線に 4.7 dB、シンガポールから日本向けの回線に 5.4 dB が clear sky margin 値としてそれぞれ設定されている。さらに QPSK より変調効率が良い 8 PSK 変調方式を適用し、FEC はシーケン

<sup>1</sup>JSAT 株式会社 : <http://www.jsat.net/>

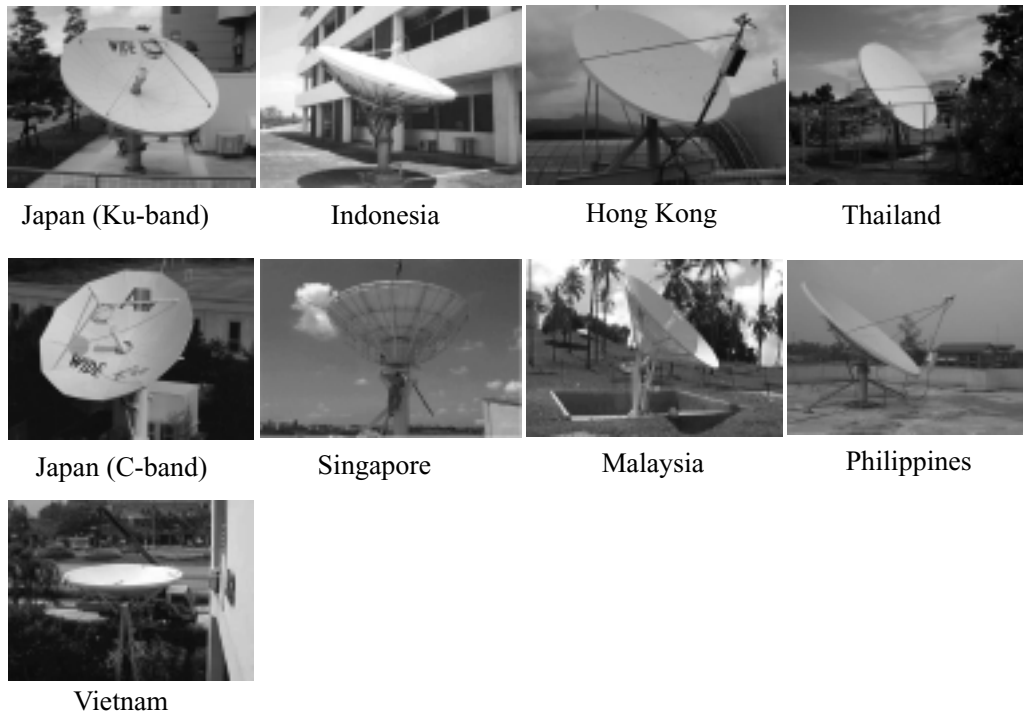


図 3.3 異なる RF ユニットから構成された AI<sup>3</sup> 地球局一覧

シャルデコーディングとリードソロモンの組み合わせによって実現した。結果として、回線品質として必要とされる C/N 比は Ku-band 時の 7.0 dB よりも高い値の 8.7 dB が要求されることになるが、帯域利用効率の側面からこの方式を採用した。

### 3.5.2 地球局

先述したように AI<sup>3</sup> 地球局は必要仕様条件をプロジェクト側が提示した後、AI<sup>3</sup> パートナーが各個で自力現地調達を行った。結果として調達された地球局の写真一覧を図 3.3 に示す。図からわかる通り、各国で自力調達した結果、異なる RF ユニットを持つ地球局から AI<sup>3</sup> 地球局は構成されることになった。このプロセスを通じて、アジア諸国には衛星通信を実施する上でさまざまな規制があることが明らかにされた。各地で必要とされたライセンスは、例えば無線通信のライセン

### 3.5. 衛星通信方式による技術実証基盤 AI<sup>3</sup> ネットワークの実装

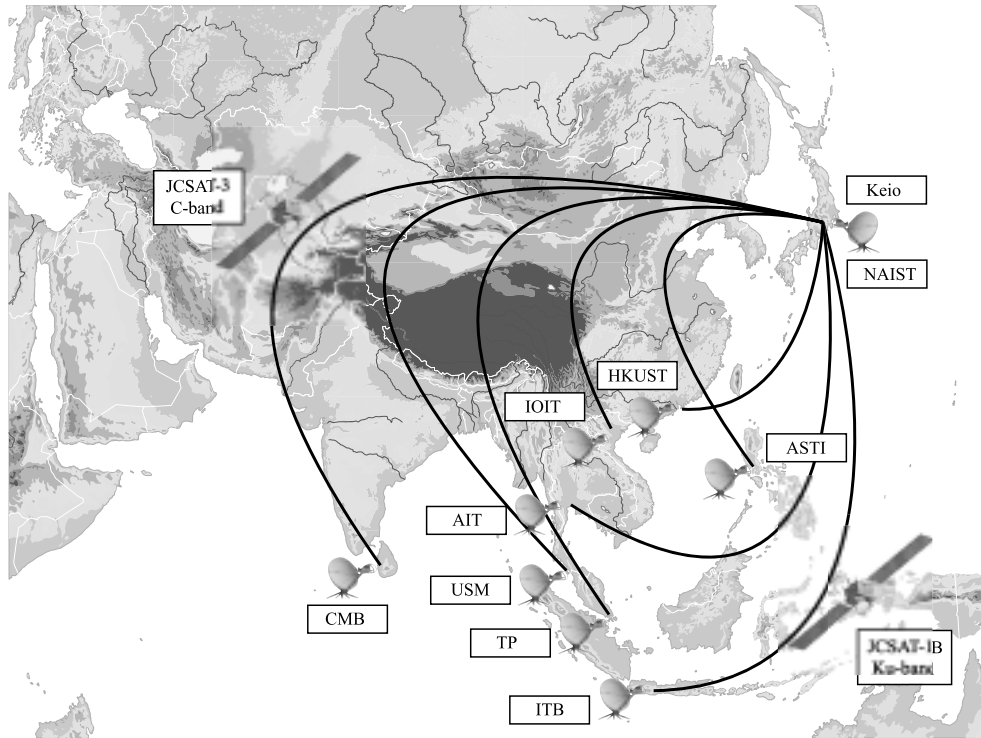


図 3.4 地理的な視点による AI<sup>3</sup> ネットワークトポロジー図

スであったり、地球局の設置許可であったり、無線機器の入関手続きであったりなどした。これらのライセンスを取得するため、AI<sup>3</sup> パートナーは大きな努力を要したものの、日本を含む 9 つのアジア諸国で最終的に必要条件を全てクリアすることができた。

AI<sup>3</sup> パートナーとして参加した研究機関の所属する国ならびに所在地を表 3.9 に示す。

#### 3.5.3 ネットワークトポロジー

構築された AI<sup>3</sup> ネットワークのトポロジーを 図 3.4 に示す。ただし、図中の日本とスリランカの回線は、2001 年 12 月の時点ではスリランカ側の地球局の調達が完了しておらず、衛星リンクはまだ確立されていない。

AI<sup>3</sup> パートナーごとの AI<sup>3</sup> ネットワークへの接続年表を表 3.10 に示す。タイの

### 第3章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の構築

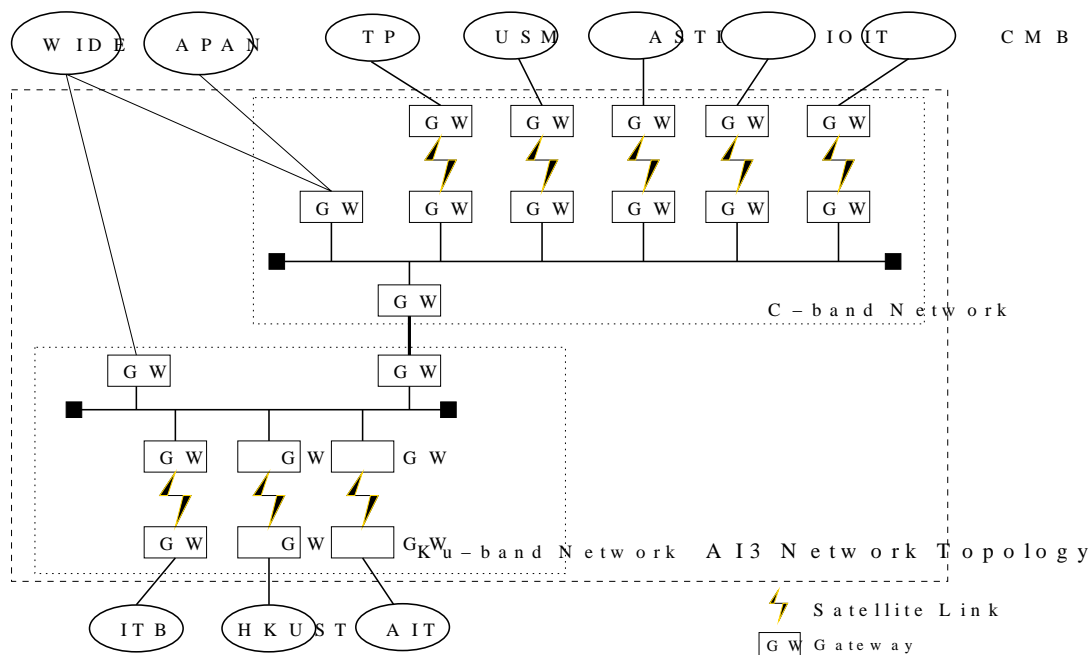


図 3.5 AI³ TCP/IP ネットワークトポロジー

AIT は当初、Ku-band グループの中でもっとも早く接続すると思われたが、衛星通信を規制する監督省庁によるライセンス認可の取得に手間取り、最も遅い接続となってしまった。一方、C-band 側の事例では、ベトナムが地球局の要求仕様をもとに調達したアンテナ部品にミスがあって接続が遅れた。

#### 3.5.4 IP ルーティング

AI³ ネットワークは図 3.2 にあるようにスター状のトポロジーを形成している。ここで、全ての地球局はデータを送受信できる能力を持っている。この衛星サーキット上へ TCP/IP ネットワークを図 3.5 のように実装した。ここで、GW と記されたホストは衛星モデムと高速シリアル接続しており、GW 間はデータリンクプロトコルとして Cisco HDLC を利用して point-to-point 接続している。地球局ネットワークの経路情報は OSPFv2 で経路交換され、BGP4 によって AI³ パートナーが広告したい経路情報が衛星サーキットを通して交換される。

### 3.6. 考察

ここでは、本章で述べた提案方式の有効性について、以下の三点を焦点に順を追って考察する。

- 速やかに基盤環境を立ち上げられたかどうか
- アジア地域をカバーできたかどうか
- 環境維持が持続できているかどうか

まず、基盤環境構築プロセスにおける迅速さについて評価する。本研究プロジェクトは 1995 年に起案された。接続年表 3.10 に示したように、1996 年から約 1 年間の間に第 1 フェーズの Ku-band ネットワークが構築された。第 2 フェーズに移ってからは、1999 年から 2000 年の 1 年間に 4 局が立ち上がり、その後は一年後に 1 局というペースで C-band 局がアジア地域に構築されている。このことから、本研究における構築アプローチは速やかにインターネット技術実証基盤環境をアジア地域へ構築したといえる。

本基盤環境はアジア地域の域内通信基盤として、日本からアジア諸国に対する回線帯域が 1.5 Mbps、アジア諸国から日本向けが 512 Kbps の回線帯域を持つ衛星通信ネットワークをアジア地域に構築した。RTT 値としては従来の米国中心のネットワークトポロジーとあまり差がないものの、欧米向けのトラフィックに影響を受けないアジア域内の独自通信網を構築した点は大きく評価できると思われる。RTT 値については、静止軌道衛星との通信の関係上、どの通信の組み合わせでも RTT 値は大きいですが、一定の範囲内で変動の少ない RTT 値が期待できることや、通信帯域制御をアジアの研究者らの意思で決定できる点は価値があると思われる。

次に、本基盤環境がアジア地域の域内通信基盤としてどの程度カバーできるかについて、技術的視点から見れば、図 3.1 に示したようにアジア地域の大部分をカバー可能である。その中で、本研究の提案方式の下、基盤接続を実証した地域は、衛星のエリアカバレッジの中心に位置する東南アジア地域である。結果として、日本を含めて東南アジア地域から合計 8 ヶ国、トータルで 10 の研究機関へ基盤を展開できた。

### 第3章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の構築

---

その一方で、非技術的な観点から広域性を評価すると、参加意思はあったものの、さまざまな事情からカバーできなかった国や地域もまた存在する。例えば、Ku-band におけるカンボジアと C-band における中国である。前者は、AI<sup>3</sup> プロジェクトへの参加途中でカンボジア国内の政情不安が影響して参加できなくなった。後者は中国国内の監督省庁による衛星通信ライセンスが許可されないという問題から参加が見送られた。カンボジアの事例は本研究の提案方式の有効性の検証対象外として本方式を実証評価した時、9 分の 8 という達成度でアジア諸国へ域内の基盤環境を構築できたことになる。以上の点から、本研究の提案方式がアジア地域において実現性を持ち得るかどうかを評価すると、アジア地域中、東南アジア地域では十分に実現性を持つ方式として実証されたといえる。

最後に、本研究の提案方式におけるインターネット技術実証基盤の持続性について考察する。1997 年に発生したアジア通貨危機によって保守費用が捻出できなくなり、現在日本との回線を維持できていない香港の事例を除くと、他の地域を結ぶ回線は十分に機能し続けている。また、深刻なアジア通貨危機下にあったタイの AIT でも、香港と同様に地球局に問題が発生したものの、本提案方式にあったように AIT の自助努力によって地球局が回復した。したがって、本提案方式は環境の持続性という観点からうまく機能しているといえる。

以上のように、本研究の提案方式はアジア域内のインターネット技術実証基盤環境を実際に構築可能であることが東南アジア地域を中心に実証された。しかしながら、インターネット回線に衛星通信路を利用した基盤環境であるため、回線に障害が発生した場合等に問題箇所の特定や基盤運用が難しい。次章では、こうした運用上の問題点を捉えた上で、本研究でどのように解決したのかについて述べる。また、軌道にのった基盤運用のもとで実施された、インターネット技術に関する国際共同研究やインターネット技術を利用したどのような国際協力について報告する。

表 3.1 基盤構築時の地上回線網と衛星回線網による比較

比較項目	地上回線網	衛星回線網
( 1 ) 新規性		
基盤新規性 技術新規性	× ( 一般的 ) ( ATM ) ( WDM w/ SONET )	( 国際規模では独自 ) ( 衛星インターネット )
( 2 ) 広域性		
広域性	× ( 都市部以外 )	( 衛星フットプリント )
( 3 ) 基盤独立性		
既設基盤への依存性 運用の自律性	× ( 依存 ) × ( 複数キャリア )	( 非依存 ) ( 単一キャリア可 )
( 4 ) 即時性		
構築の速やかさ ライセンスの有無	( 都市部 ) × ( 離島・山間部等 ) ( ライセンス不要 )	( 地球局建設 ) ( ライセンス取得 ) × ( 要ライセンス )
( 5 ) 運用性		
運用の容易性	( 容易 )	( やや難 )
( 6 ) 回線特性		
通信帯域幅 伝送遅延 降雨減衰 同報性	( ~ 数 Gbps ) ( 低遅延 ) ( 影響なし ) × ( なし )	( ~ 数百 Mbps ) × ( 高遅延 ) × ( Ku-band 影響あり ) ( あり )
( 7 ) コスト		
初期コスト 運用コスト	( 都市部 : 低コスト ) × ( 上記外 : 高コスト ) ( 中コスト )	( Ku-band : 中コスト ) × ( C-band : 高コスト ) × ( Ku-band : 高コスト ) ( C-band : 中コスト )

### 第3章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の構築

表 3.2 地上回線網によるアジア地域の 2 Mbps 国際線の参考見積金額

対地	日本国内	日本側	海外側	年額の回線費
<b>奈良 - 対地</b>				
Los Angeles	¥ 574,000	¥ 3,325,350		¥ 3,899,350
Bandung, Indonesia	¥ 574,000	¥ 4,010,000	¥ 8,025,144	¥ 12,609,144
Hong Kong	¥ 574,000	¥ 2,036,104		¥ 2,610,104
Bangkok, Thailand	¥ 574,000	¥ 4,010,000	¥ 2,552,965	¥ 7,136,965
<b>湘南藤沢 - 対地</b>				
Los Angeles	¥ 574,000	¥ 3,325,350		¥ 3,899,350
Singapore	¥ 574,000	¥ 7,645,443		¥ 8,219,443
Penang, Malaysia	¥ 574,000	¥ 4,010,000	¥ 470,025	¥ 5,054,025
Manila, Philippines	¥ 574,000	¥ 4,010,000	¥ 6,951,557	¥ 11,535,557
Hanoi, Vietnam	¥ 574,000	¥ 4,010,000	¥ 10,280,748	¥ 14,864,748
Colombo, Sri Lanka	¥ 574,000	¥ 4,010,000	¥ 3,295,439	¥ 7,879,439

表 3.3 衛星回線網によるアジア地域の 1.5Mbps/512Kbps 国際線の参考見積金額

回線速度	利用衛星	変調緒元	年額の回線費
Ku-band			
1.5Mbps / 512Kbps	JCSAT-1B	QPSK, FEC=3/4	¥ 49,248,000
C-band			
1.5Mbps / 512Kbps	JCSAT-3	QPSK, FEC=3/4	¥ 15,552,000
1.5Mbps / 512Kbps	JCSAT-3	8 相 PSK	¥ 12,960,000



表 3.4 スリランカのコロンボ市における AI<sup>3</sup> C-band 地球局の要求仕様

Satellite	
JCSAT (128 deg East)	
Frequency and Polarization	
JCSAT Band and Frequency Range	Uplink 622-56485 MHz
	Downlink 394-04200 MHz
JCSAT Conversion Frequency	2285 MHz
AI <sup>3</sup> Assigned Transponder Band and Polarization	
	Uplink 6365-48 MHz (H)
	Downlink 4080-48 MHz (V)
Antenna Look Angles	
Azimuth	97.5 deg
Elevation	34.1 deg
Polarization	-56.7 deg
Satellite Modem and R	
Point to Point Modem between Hub and Rim Station	
Type	SD-M00A
Manufacturer	EFD - Adaptive Broadband
Required Option	Variable Rate Modem Codec, Viterbi Decoding, 8PSK
Data Interface (Interface)	EIA 422 or EIA 523 or V (Connector 25, 37 or 50 pin Winchester)
UDLR Receiver	TBA
Antenna and HPA	
Antenna Diameter	4.5 m
HPA Maximum Power	10 W for 512 kbps (2/3 8PSK with RS)
	40 W for 2048 kbps (2/3 8PSK with RS)
Required EIRP	56.1 dBW for 512 kbps (2/3 8PSK with RS)
	62.2 dBW for 2048 kbps (2/3 8PSK with RS)

表 3.5 Ku-band 回線におけるエミッションタイプ

Satellite		JCSAT
Transponder		K-3
Information Rate	From Core Hub	1.536 Mbps
	From Rim	512 kbps
Modulation		QPSK
Error Code		R = 3/4
Required Eb/No		5.2 dB
Required C/N		7.0 dB
SFD	Japan	-88.0 dBW/m
	Indonesia	-87.4 dBW/m
Antenna Diameter	Japan	3.6 m
	Indonesia	3.6 m

表 3.6 C-band 回線におけるエミッションタイプ

Satellite		JCSAT
Transponder		C-7
Information Rate	From Core Hub	1.536 Mbps
	From Rim	512 kbps
Modulation		8PSK
Error Code		R = 2/3, RS (225, 205)
Required Eb/No		6.1 dB
Required C/N		8.7 dB
SFD	Japan	-94.3 dBW/m
	Singapore	-94.5 dBW/m
Antenna Diameter	Japan	7.6 m
	Singapore	6.0 m

表 3.7 Ku-band 回線のリンクバジェット

Ku-band			Japan to Indonesia	Indonesia to Japan
Uplink	Earth Station EIRP	dB	55.7	52.3
	Uplink Path Loss	dB	207.4	207.4
	Satellite G/T	dB/K	2.8	1.6
	Boltzmann Constant	dB	228.6	228.6
	Bandwidth	dB/Hz	60.1	55.3
	Uplink C/N	dB	19.6	24.4
Downlink	Satellite EIRP	dB	46.1	46.5
	Output Backoff	dB	16.5	21.1
	Downlink Path Loss	dB	206.3	206.3
	Link Length Received	dB	26.3	26.3
	Boltzmann Constant	dB	228.6	228.6
	Bandwidth	dB/Hz	60.1	55.3
Downlink C/N	dB	18.2	18.7	
Total C/N		dB	15.8	17.7
Required C/N		dB	7.0	7.0
Clear Sky Margin		dB	8.8	10.0

第3章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境の構築

表 3.8 C-band 回線のリンクバジェット

C-band			Japan to Singapore	Singapore to Japan
Uplink	Earth Station EIRP	dB	50.5	45.5
	Uplink Path Loss	dB	200.6	200.6
	Satellite G/T	dB/K	0	0.2
	Boltzmann Constant	dB	228.6	228.6
	Bandwidth	dB/Hz	59.3	54.5
	Uplink C/N	dB	19.3	19.3
Downlink	Satellite EIRP	dB	39.2	38.2
	Output Backoff	dB	18.3	23.1
	Downlink Path Loss	dB	196.7	196.7
	Link Length Receiver G/T	dB/K	21.2	23.2
	Boltzmann Constant	dB	228.6	228.6
	Bandwidth	dB/Hz	59.3	54.5
Downlink C/N		dB	14.7	15.7
Total C/N		dB	13.4	14.1
Required C/N		dB	8.7	8.7
Clear Sky Margin		dB	4.7	5.4

表 3.9 AI<sup>3</sup> パートナー一覧

国	所在地	組織名
Ku-band ネットワーク		
日本	奈良県	奈良先端科学技術大学院大学
インドネシア	バンドン市	Institute of Technologi, Bandung
香港	香港	Hong Kong University of Science and Technology
タイ	バンコク市	Asian Institute of Technology
C-band ネットワーク		
日本	神奈川県	慶應義塾大学
シンガポール	シンガポール	Temasek Polytechnic
マレーシア	ペナン島	Universiti Sains Malaysia
フィリピン	マニラ市	Advanced Science and Technology Institute
ベトナム	ハノイ市	Institute of Information Technology
スリランカ	コロンボ市	University of Columbo

表 3.10 AI<sup>3</sup> パートナーの接続記録

国	サイト	UAT	point-to-point	経路交換開始
Ku-band ネットワーク				
日本	NAIST	1996年9月	—	—
インドネシア	ITB	1996年10月	1996年10月	1996年11月
香港	HKUST	1997年2月	1997年2月	1997年2月
タイ	AIT	1997年6月	1997年6月	1997年7月
C-band ネットワーク				
日本	SFC	1999年8月	—	—
シンガポール	TP	2000年1月	2000年3月	2000年3月
マレーシア	USM	2000年2月	2000年3月	2000年5月
フィリピン	ASTI	2000年1月	2000年3月	2000年8月
ベトナム	IOIT	2001年5月	2001年6月	2001年9月
スリランカ	CMB	—	—	—

## 第4章

# アジア地域におけるインターネット 技術実証基盤の評価

本章では、前章で構築したアジア地域のインターネット技術実証基盤環境 AI<sup>3</sup> ネットワークにおける基盤運用上の問題点を述べ、その問題に対する解決策となる基盤運用の仕組み「AI<sup>3</sup> VSAT モニタリングシステム」を述べる。また、AI<sup>3</sup> ネットワークの実利用例をもとに同環境の有効性について多角的視野から評価する。

### 4.1. 衛星通信方式による技術実証基盤の運用

#### 4.1.1 衛星通信方式による技術実証基盤の運用の困難さ

衛星通信方式による大規模な技術実証基盤 AI<sup>3</sup> ネットワークを運用する上で、地上回線の利用時とは異なる様々な運用上の問題に直面する。主要な問題としては、複数部品から構成される地球局設備の部品故障による通信停止や、最適に設定されていない地球局の運用等による衛星回線品質の劣化などである。

例えば、地球局アンテナの方向が正確に衛星に向いていない場合、地球局における受信電力値は高くなったり低くなったりと振動してしまい、回線設計の clear sky margin を無駄に減らし、降雨減衰による回線の寸断が起こりやすくなる。

また、こうした問題は地球局設備の初期不良や初期設定不良によって引き起こされるだけでなく、長期にわたって運用しているうちに顕在化してくる消耗部品の経年劣化等によって、問題が引き起こされる場合もある。例えば高電圧機器

## 第4章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤の評価

---

の TWT<sup>1</sup> の寿命は、連続運用した時は通常 2 年ほどしかなく、TWT の寿命や経年劣化による性能悪化にも配慮する必要がある。

しかしながら、地球局設備は専門家によって建設直後に微調整されるものの、常に精密で健全な状態をその後にわたって専門家が保ち続ける運用は、非常に高いコストがかかるため困難である。現実的には現場の運用者が問題を特定し、必要なら専門家に修理や調整を依頼するなどといった運用手法を取らざるを得ない。

しかしながら、衛星通信の専門家がない学術研究機関の研究者らにとり、問題の発生箇所を速やかに特定し、かつ、解決に至るまでに必要となる専門知識や運用経験は不足している。大規模な衛星通信設備を用いて、研究者らがインターネット技術実証基盤環境を運用するためには、専門外の足りない知識や経験を補う運用システムの導入が必要不可欠である。そこで、次節に述べる AI<sup>3</sup> VSAT モニタリングシステムを考案し、AI<sup>3</sup> ネットワークの運用に利用した。

### 4.1.2 衛星通信方式による技術実証基盤のネットワーク管理システム

インターネットを構成する通常のネットワークでは、SNMP ベースのネットワーク管理システムを組み込んで一般的に利用している。この管理システムを利用することにより、ルータ、スイッチ、そして各種ネットワーク装置の状態を監視された結果をネットワークへ参加する運用者や研究者の間で情報共有し、ネットワークで発生する問題点の速やかな特定に役立てる。ネットワーク管理はネットワーク環境の健全性を保つ上で必須である。

AI<sup>3</sup> ネットワークにおいても、この SNMP ベースのネットワーク管理手法を利用しているが、前節で述べた運用上の問題を解決するために、衛星通信システムの複雑な機器や特異な回線特性をもつ衛星回線の状態も含めて監視する必要がある。静止軌道衛星に打ち上げられた衛星は、常時、衛星通信会社の衛星制御センターによってモニターされているが、地球局で利用する衛星通信設備は監視対象に入っていない。そこで、従来のネットワーク管理手法の枠組みを用いつつ、地球局設備をネットワーク監視対象に新たに組み入れる。

---

<sup>1</sup>TWT: Traveling Wave Tube - 進行波管



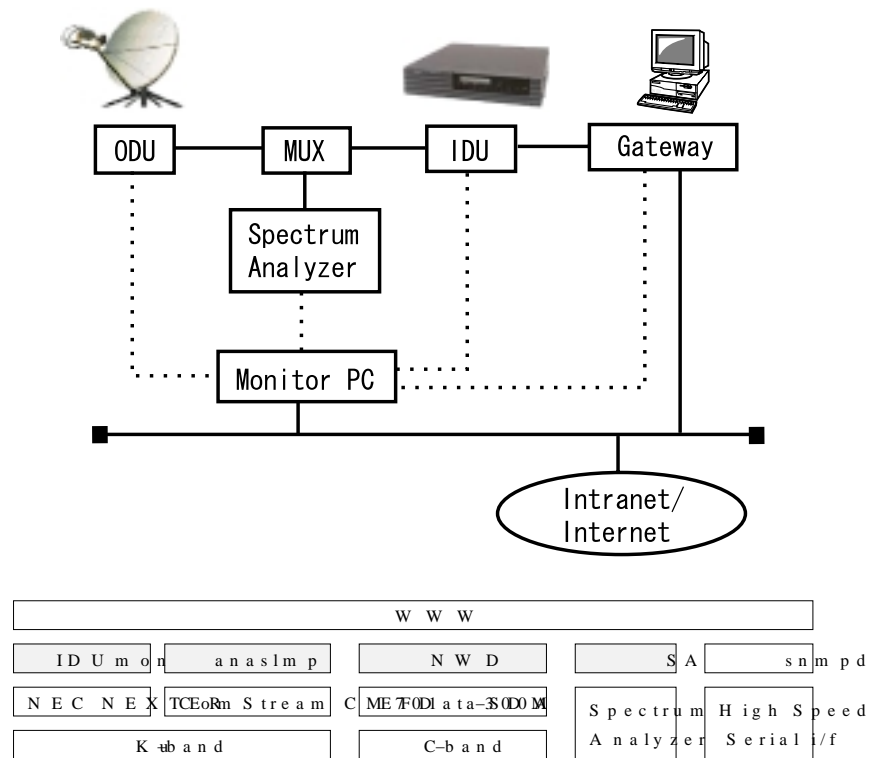


図 4.1 AI³ VSAT モニタリングシステム

図 4.1 に示すように、一般に VSAT 地球局の通信機器は ODU と IDU から構成されている。ODU 周辺で得られるデータは気温や降水量といった室外の情報である。IDU からは  $E_b/N_0$  と AGC レベルの変動値を知ることができる。ハブ局の IF 帯を監視するスペクトラムアナライザーからは、各リム局から送信された後にハブ局で受信した信号の受信電力の変化を知ることができる。さらに、ゲートウェイに接続された高速シリアルカードからは衛星リンクの up/down 状態、IP パケットのトラフィック量、プロトコル分布などが得られる。こうした監視コンポーネントは信号が送信されなくなるといった衛星回線のトラブルを診断する上で重要である。

ODU 周辺の気象条件は衛星通信に影響を与えることがある。例えば、東南アジアにおける高気温にさらされた ODU は適切にクールダウンしないと機能しなくなる。ODU がオーバーヒートして送信電力が低下したことが判明した後に、

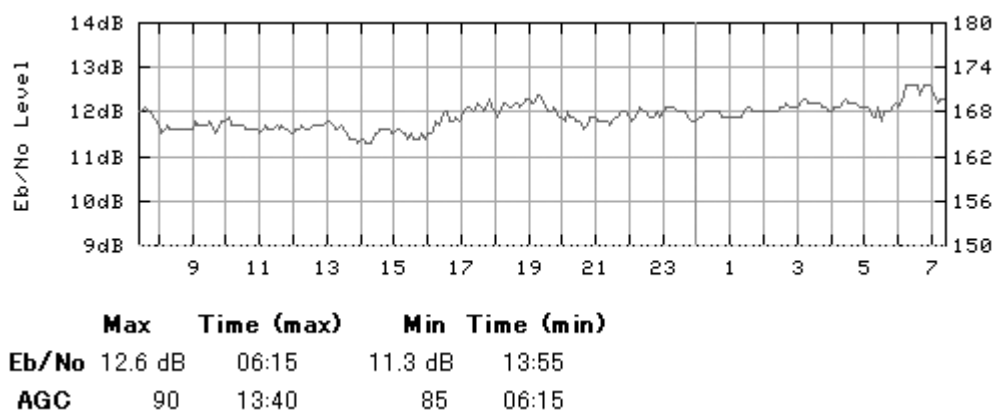


図 4.2 anaslmp の記録例

気温を計測するデバイスと大きな外部ファンがタイの AIT にある AI<sup>3</sup> 地球局の ODU へ組み込まれた。降雨と積雪も同様に計測されるべきである。例えば、インドネシアの ITB の AI<sup>3</sup> 地球局は、気象観測ステーションを設置、運用して大雨を記録し、IDU の通信パラメータの変動との相関関係を調べようとしている。なぜならインドネシアと日本を結ぶ Ku-band 回線は、降雨減衰の影響を受けて大雨時に瞬断することがあるため、瞬断が気象条件によってもたらされたものか、それとも別のトラブル要因が関係しているのかを問題切り分けするためである。

IDU のパラメータはリモートサイトから衛星回線の状態を把握するためにはたいへん有益なデータを包含している。Ku-band の事例では、降雨減衰により大雨の時間帯にリンクが寸断状態になる。これはリンクマージンがあふれた時である。このような情報こそネットワーク監視の対象にふさわしい。そこで、AI<sup>3</sup> ネットワークでは 図 4.1 に示す IDUmon、anaslmp、そして NWD という 3 つの IDU 監視ソフトウェアを開発した。それぞれ、NEC NEXTER、ComStream CM701、EFData SDM-300A という IDU 製品に対応する。anaslmp による出力例を図 4.2 に示す。

スペクトラムアナライザーはさまざまなケースで役立つ。まず、ハブ局においてリム局から送信された信号の受信電力を計測することができる。このことにより、リム局の運用者が自局の電波がハブ局へ到達しているかどうか、送信されてい

るかどうかを簡単に知ることができる。次に、通信設備の経年劣化を知る目安にもなる。衛星通信システムにおける地球局、特にハブ局は TWT や down converter といった複数の機器から送受信回路が構成されており、一部の通信機器の性能劣化によって通信に支障を来たす場合がある。また、IP 接続が正しく運用されているかどうかを知る上で、図 4.1 にあるようにゲートウェイも監視対象になっている。

さらに計測されたデータを保存することにより、先に述べたように経年劣化といった状態を見つけ出したり、通信異常を見つけ出すことにネットワーク監視システムを役立てることができる。AI<sup>3</sup> ネットワークにおいても、データベースへ各種の計測情報を記録している。

#### 4.1.3 AI<sup>3</sup> VSAT モニタリングシステムの評価

実際に AI<sup>3</sup> VSAT モニタリングシステムを AI<sup>3</sup> ネットワークへ導入して、どのような成果があったかについて述べる。

AI<sup>3</sup> NAIST 地球局は 1996 年 9 月に運用が開始されたが、約一年後の 1997 年 8 月に地球局アンテナの方向を微調整することになった。これは、NAIST へアンテナ設備が納入された時に、アンテナの方向が正確に衛星へ向いていなかったことが AI<sup>3</sup> VSAT モニタリングシステムを用いた観測によって、判明したためである。24 時間周期で受信電力の変動幅が最大 3 dB 観測されたため、観測データをもとに専門家へ保守を依頼し、ノミナルポイントにおいてアンテナを微調整した。この受信電力の変動は、本システムのスペクトラムアナライザーによる受信電力値の監視によって発見された。

次に、1998 年 6 月に NAIST 地球局の通信設備の一部を構成する Downconverter へ BPF<sup>2</sup> を新たに取りつける必要が生じた。これは、AI<sup>3</sup> ネットワークの運用を開始した 1996 年当初、JCSAT-3 衛星が提供する衛星回線は混雑しておらず、Downconverter へ BPF を取り付けなくとも、受信電力が Downconverter のアンプを飽和させる事態は発生しなかった。しかし、近年デジタル CS 放送の普及に伴い、AI<sup>3</sup> ネットワークが利用する通信帯域の近接帯域を衛星放送波が利用しはじめた。その結果、1997 年 12 月頃に Downconverter のアンプが飽和し、AI<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup>BPF - Band Pass Filter

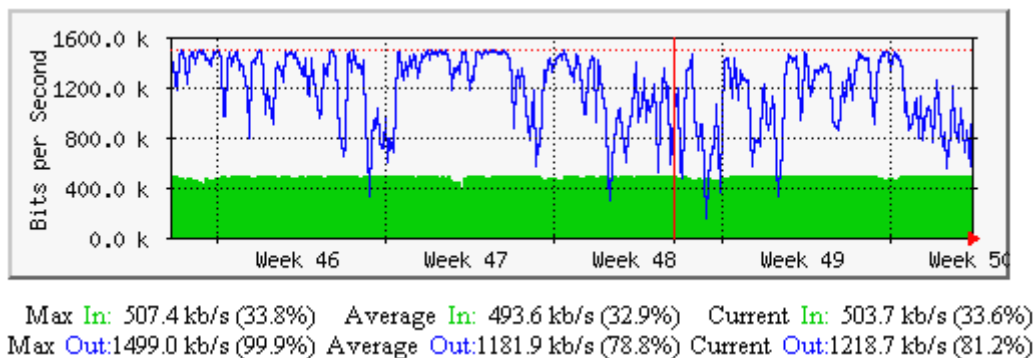


図 4.3 日本 - インドネシア回線の IP パケット数の月単位の推移

NAIST 地球局における受信設備が全く利用できなくなった。そこで、本システムによる監視結果をもとに専門家と相談した結果、Downconverter へ BPF を取りつけることにより、回線が従来通りの通信品質へ回復した。

## 4.2. インターネット 技術実証基盤の有効性の検証

### 4.2.1 リンク利用率の評価

まず基盤の実利用検証として回線利用率の評価を行う。この評価は衛星回線を用いた基盤のインターネット利用に対する適性を判断する尺度となる。

図 4.3 から図 4.8 に MRTG というインターネットトラフィックの視覚化ツールにより記録された、衛星回線上を流れた IP パケットのトラフィック推移を示す。トラフィックの計測期間は 2001 年の 10 月から 11 月にかけての一ヶ月間である。香港の回線は香港側の地球局が故障しているため、香港線の回線利用を示すグラフは掲載していない。これらのグラフのうち、インドネシア回線やベトナム回線では国際インターネットバックボーンとして基盤を日常的に活用していることがわかる。これらの実例から、構築した基盤はアジア地域の国際バックボーンとして機能するといえる。

## 4.2. インターネット技術実証基盤の有効性の検証

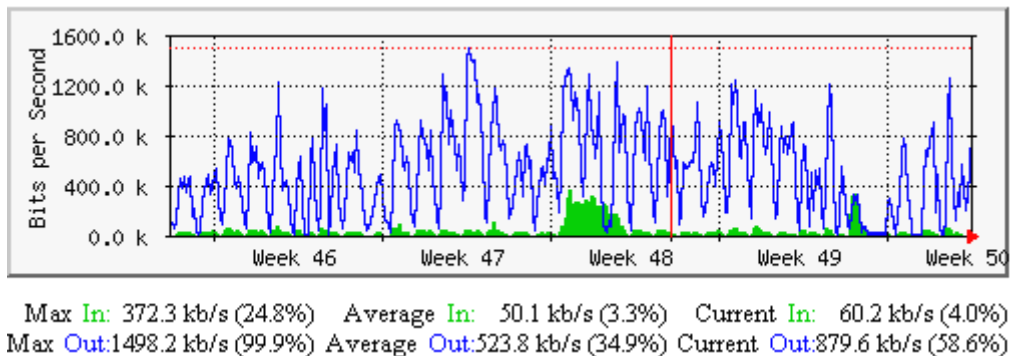


図 4.4 日本 - タイ回線の IP パケット数の月単位の推移

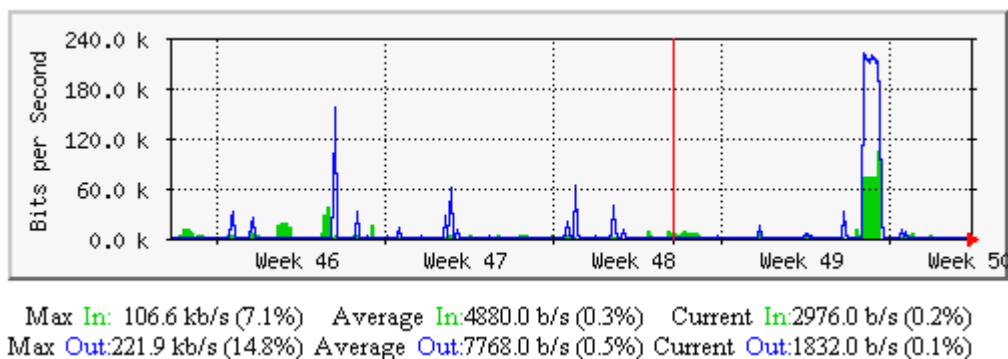


図 4.5 日本 - シンガポール回線の IP パケット数の月単位の推移

### 4.2.2 衛星ネットワーク網の運用難易度の評価

衛星回線を利用した基盤運用の運用性について評価する。衛星回線利用の場合、衛星回線の両端に地球局が必要となる。基盤構築にあたって建設された地球局の総数は日本の地球局も含めると 9 局である。前章に述べたように、地球局の調達は、各国の研究機関が責任を持って各国内の衛星通信機器を取り扱うローカルベンダから調達した。この結果、地球局の調整や運用ノウハウは各国内に閉じる形でスムーズに実施、蓄積された。また、地球局運用にあたり、衛星通信キャリアの JSAT が制作した運用ガイドラインに沿って、商用衛星のトランスポンダ資源

## 第4章 アジア地域におけるインターネット技術実証基盤の評価

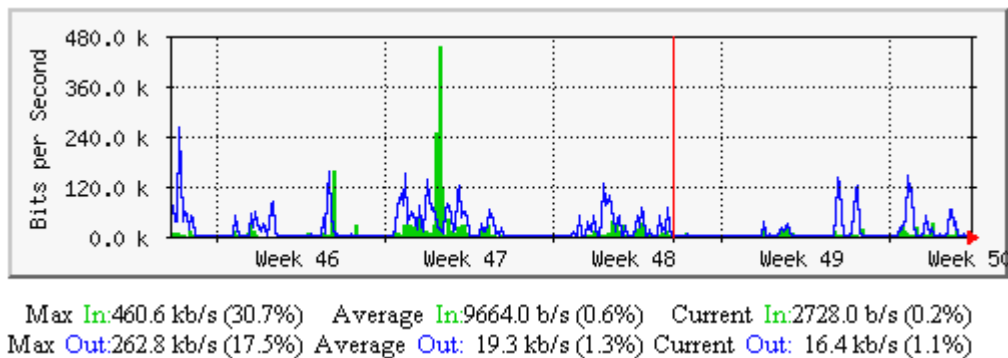


図 4.6 日本 - マレーシア回線の IP パケット数の月単位の推移

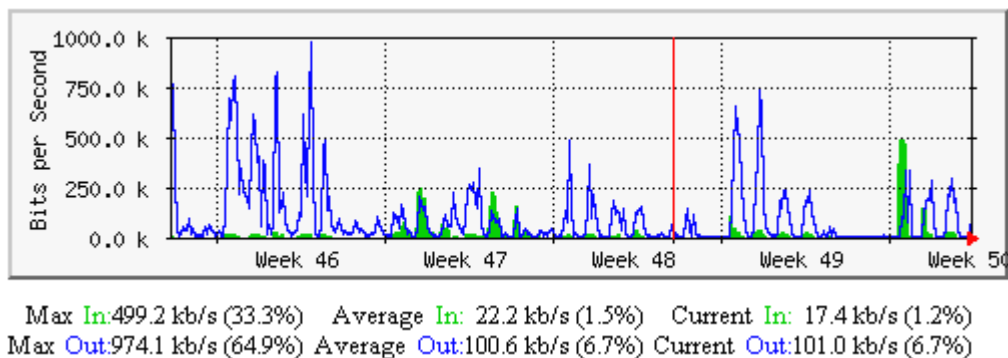


図 4.7 日本 - フィリピン回線の IP パケット数の月単位の推移

を他の顧客と共有しながら利用した。

この運用を通じて、UAT（アップリンクテスト）と呼ばれる送信手順を忘れるといったミスが時折起こったり、アンテナの調整不良、一部の短命な衛星通信機器の経年劣化といった地球局運用上の問題を幾つか経験した。しかしながら、送信手順ミスについては運用ガイドラインの徹底化をはかることで改善した。また、アンテナの調整不良や一部の通信機器の経年劣化は前章で述べたネットワーク管理技術へ地球局の状態監視機能を付加することによって、地球局運用や衛星回線に知識のない運用者に対して問題特定の手段を与えることで、問題発見に至る時間の短縮化をはかった。1996年から5年間継続した運用の結果、以上の工夫を

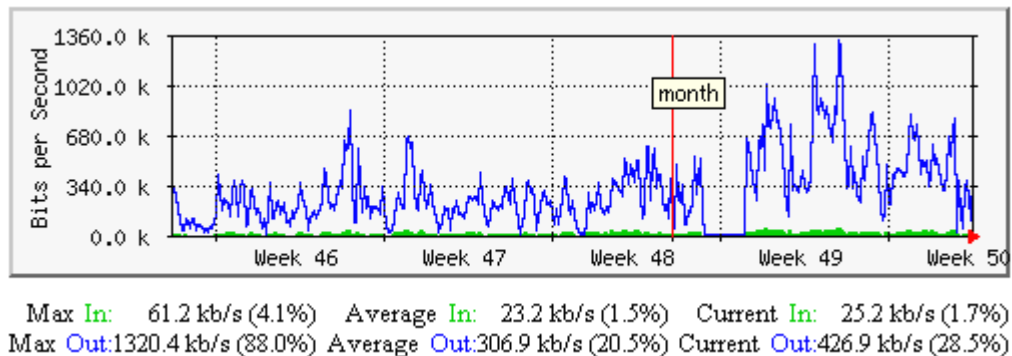


図 4.8 日本 - ベトナム回線の IP パケット数の月単位の推移

組み合わせれば、衛星通信の専門家が基盤運用に参加する教育研究機関にいたとしても、本研究で構築した基盤を利用できることが実証された。

#### 4.2.3 マルチキャスト技術の実証基盤環境としての評価

MBone の運用経験や衛星通信を利用したマルチキャスト技術、マルチキャストアプリケーションの研究開発を目的に、AI<sup>3</sup> ネットワークで MBone 運用も含めたさまざまなマルチキャスト実証実験を行った。

1996 年より AI<sup>3</sup> ネットワークの上で、JP-MBone へ接続する形で MBone の実験が実施された。米国との通信帯域上の制約から、MBone を実際に運用したことがない AI<sup>3</sup> パートナーが多く、そうした MBone 初心者にとって MBone 技術のノウハウの蓄積にこの一連の MBone 実証実験は役立った。例えば、歴史的なイベントである 1997 年 7 月 1 日の香港返還では、香港の AI<sup>3</sup> パートナーである HKUST のグループが AI<sup>3</sup> ネットワークを通じて MBone で返還の様様をライブ中継した。この際、AI<sup>3</sup> パートナーは scoped multicast address を利用して異なる映像品質で異なるネットワーク領域へビデオを配信する MBone テクニックを学んだ。この scoped multicast address によって高品質映像を受信した NAIST 地球局では 512 Kbps の帯域を消費する MBone セッションを受信しており、ビデオのフレームレートが 3 から 8 fps がかつ、ロスのない音声を 24 時間にわたって安定して受信できた。

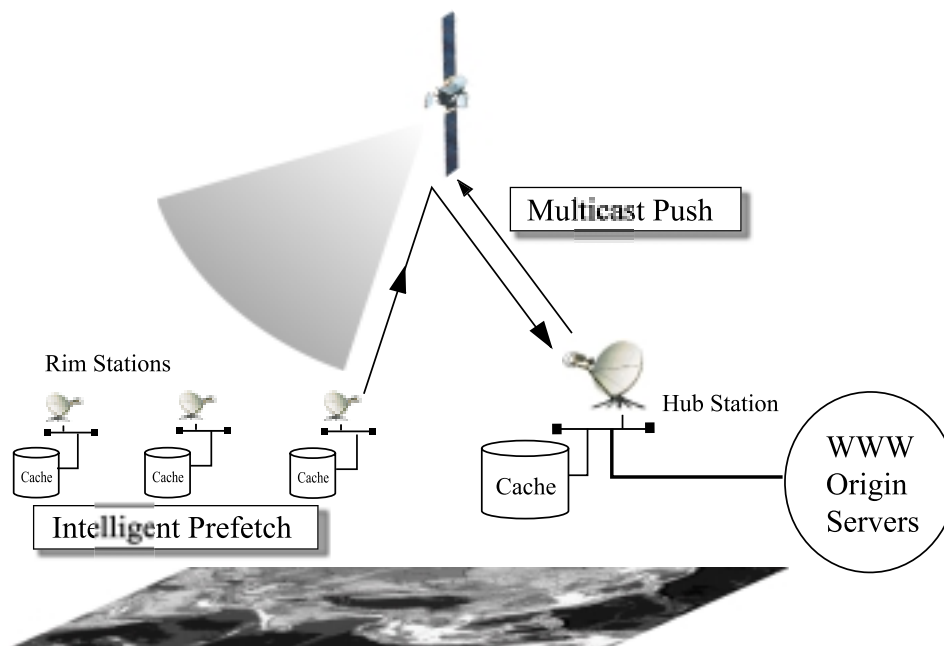


図 4.9 AI³ Cache Bone

また、AI³ ネットワークでは、マルチキャストアプリケーションの研究開発も意欲的に行われてきた。衛星からのマルチキャスト通信を利用した階層的な Web キャッシュシステムが提案され、Web キャッシュ配送のために開発された。このシステムは AI³ Cache Bone と呼ばれ、高いヒットレートと回線の帯域消費を抑制する機能を WWW オブジェクトの先読みと衛星からのマルチキャストプッシュ方式によって提供する [41][42]。図 4.9 に AI³ Cache Bone の基本モデルを示す。アジア地域において AI³ Cache Bone を運用した結果、Squid といった通常の階層キャッシュシステムに比べて約 3 倍の改善成果がリム局に設置されたリムキャッシュサーバで確認された。この AI³ Cache Bone ではマルチキャストプッシュによる配送方式を含めた回線上のトラフィック量に適用性のあるキャッシュシステムの実装が全て終了している。AIT のリムキャッシュでは平均ヒットレートが 50 % を越えて観測された [43]。



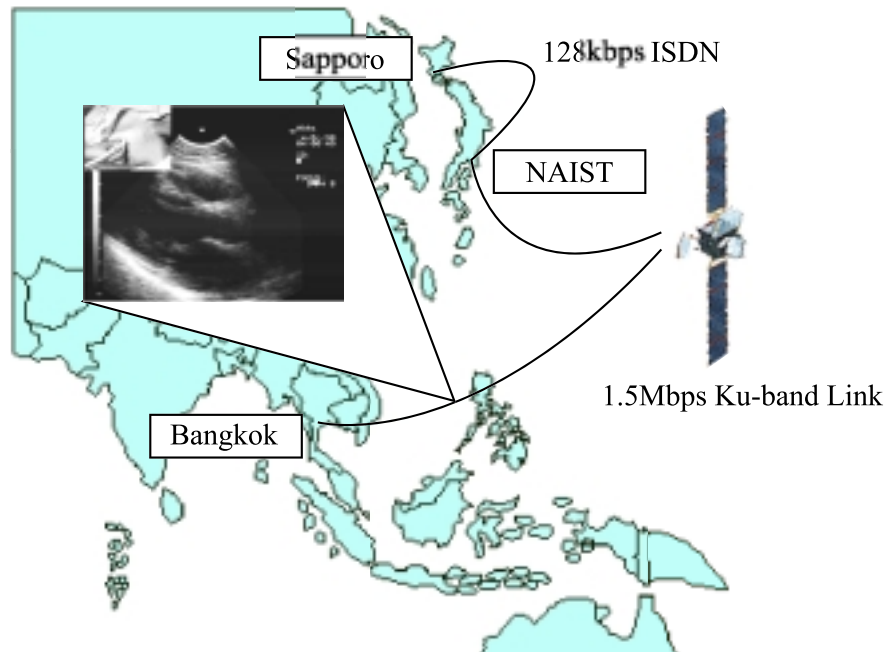


図 4.10 日本とタイの間で実施された遠隔医療実験のサポート

#### 4.2.4 降雨量の多い地域における Ku-band 回線の IP リンク評価

降雨量の多い地域における Ku-band 回線をインターネット回線としての実用評価に関しては、インドネシア回線の利用例を示す図 4.3 を見てもわかるように、14 以上のインドネシア国内の教育研究機関が利用可能な回線として実証された。

#### 4.2.5 アジア地域の研究活性化への貢献度評価

AI<sup>3</sup> ネットワークによるアジア地域の国際共同研究の活性化への寄与に対する評価として、1999 年 6 月に日本とタイの間で本実験基盤を利用して実施された遠隔医療実験を実例に挙げる。

この国際実験では、超音波医療画像を利用した実時間遠隔医療システムの実用性を評価するために、本基盤を通じて日本とタイの医療専門家や関係する研究者らが実験を行った。タイのバンコク市内にある Rajavithi 病院にいる実際の患者

に対して、北海道の超音波医療学会の学会会場にいる日本の医師が、同実験システムを用いて遠隔医療診断した [44]。この時、北海道の学会会場と奈良先端科学技術大学院大学は 128 Kbps の ISDN 回線で接続され、同大学院大学からは AI<sup>3</sup> ネットワークでタイのバンコク市街にある AIT へ接続、AIT からバンコク市内の病院へは十分に高速な専用線で接続した。図 4.10 に実験で利用したネットワークの構成図を示す。このように、本研究で構築したインターネット技術実証基盤 AI<sup>3</sup> ネットワークは、アジア地域のインターネット技術に係わる研究者だけでなく、この事例の医療をはじめ、農業、環境、教育といった他の分野の研究者らも巻き込んで、アジア地域の国際共同研究を活性化している。

### 4.3. 国際ネットワークとして機能するインターネット技術実証基盤

本研究で構築した技術実証基盤 AI<sup>3</sup> ネットワークがアジア地域においてどのように国際ネットワークとして機能しているかについて述べる。

APAN<sup>3</sup> [45][46] は各国の研究機関がアジア太平洋に持つ国際回線を相互接続した多地点実験ネットワークである [47]。1997 年 12 月に運用を開始して、アジア太平洋と米国を相互に接続する国際実験ネットワークとして機能している。APAN の特徴は、ポイントツーポイントの回線を各国 XP に終端して複数の国または地域をマルチポイントに接続する国際実験環境を提供している点である。

図 4.11 にアジア地域を中心に記された国際回線接続における AI<sup>3</sup> ネットワークの位置を示す。図 4.11 は 2000 年後半の時点における国際回線の接続関係を記している。この図を見てわかるように、AI<sup>3</sup> ネットワークはアジア地域 7 ヶ国への国際回線を運用する組織として APAN へ参加している。

図 4.11 における東京の Tokyo XP と米国の StarTAP2 を結ぶ 100Mbps の ATM 回線は APAN TransPAC<sup>4</sup> と呼ばれている。APAN と米国の NSF との共同研究計画のもとで、高速な ATM 回線である TransPAC を利用した欧米地域とアジア地域の共同研究が活性化する重要な要因となっている。この APAN の

---

<sup>3</sup>APAN (Asia-Pacific Advanced Network) : <http://www.apan.net/>

<sup>4</sup>APAN TransPAC : <http://www.transpac.org/>

#### 4.3. 国際ネットワークとして機能するインターネット技術実証基盤

XP から接続される国のうち、AI<sup>3</sup> ネットワークのみがネットワークを提供するアジア地域は 7 ヶ国中 4 ヶ国にのぼっている。また、他のアジア地域の国際回線と比べて、AI<sup>3</sup> ネットワークの回線帯域 1.5Mbps/512Kbps は充分遜色のない帯域を有している。

APII<sup>5</sup> は独立行政法人通信総合研究所がプロジェクトとして主導するアジア太平洋地域の情報通信基盤である。図 4.12 に APII と AI<sup>3</sup> ネットワークの連携関係を示すネットワーク接続図を示す。APII では技術実証基盤としてのネットワーク設備を利用して、国際間の相互接続性・相互運用性試験等の国際実験や研究を行っている。また、このネットワークを利用した各種アプリケーションの国際実験・研究を遂行している。AI<sup>3</sup> ネットワークは APII 技術実証基盤の一部として 2001 年現在組み込まれており、海底ケーブルを利用して構築された日本 - 韓国線や日本 - シンガポール線を持つ APII プロジェクトと研究成果の情報交換など、積極的に共同研究を進めている。AI<sup>3</sup> ネットワークで得られた研究成果は、APEC TEL WG 会議<sup>6</sup> における APII プロジェクトの活動報告を通じて、APEC TEL WG メンバへフィードバックされている。

国際協力への貢献を評価する一例として、1997 年の UNFCCC/COP3<sup>7</sup>、1998 年の UNFCCC/COP4<sup>8</sup>[48] や GOIN99 のサポートを挙げる。こうした国際会議では、AI<sup>3</sup> ネットワークは例えば地球温暖化防止会議といった会議の様態をライブまたはオンデマンド方式によって、アジア地域へ中継するネットワークとして機能した。このような地球全体の環境に係わる会議中継を直接会議へ参加できない人へはライブ方式で、また時差の関係から実時間で会議内容を見れない人へはオンデマンド方式で効果的に配信可能なインターネットへの期待は年々高まっている。先に述べた他のネットワークとの連携を通じて、AI<sup>3</sup> ネットワークはアジア地域への配信チャンネルとして効果的に機能した。

<sup>5</sup>APII (Asia-Pacific Information Infrastructure) : <http://www.crl.go.jp/t/team1/APII/>

<sup>6</sup>APEC TEL WG (Asia-Pacific Economic Cooperation Telecommunications & Information Working Group) : <http://www.apectelwg.org/apec/main.html>

<sup>7</sup>UNFCCC/COP3 Conference on Demand Project : <http://www.cop3.ckp.or.jp/>

<sup>8</sup>UNFCCC/COP4 Conference on Demand Project : <http://www.cop4.ckp.or.jp/>

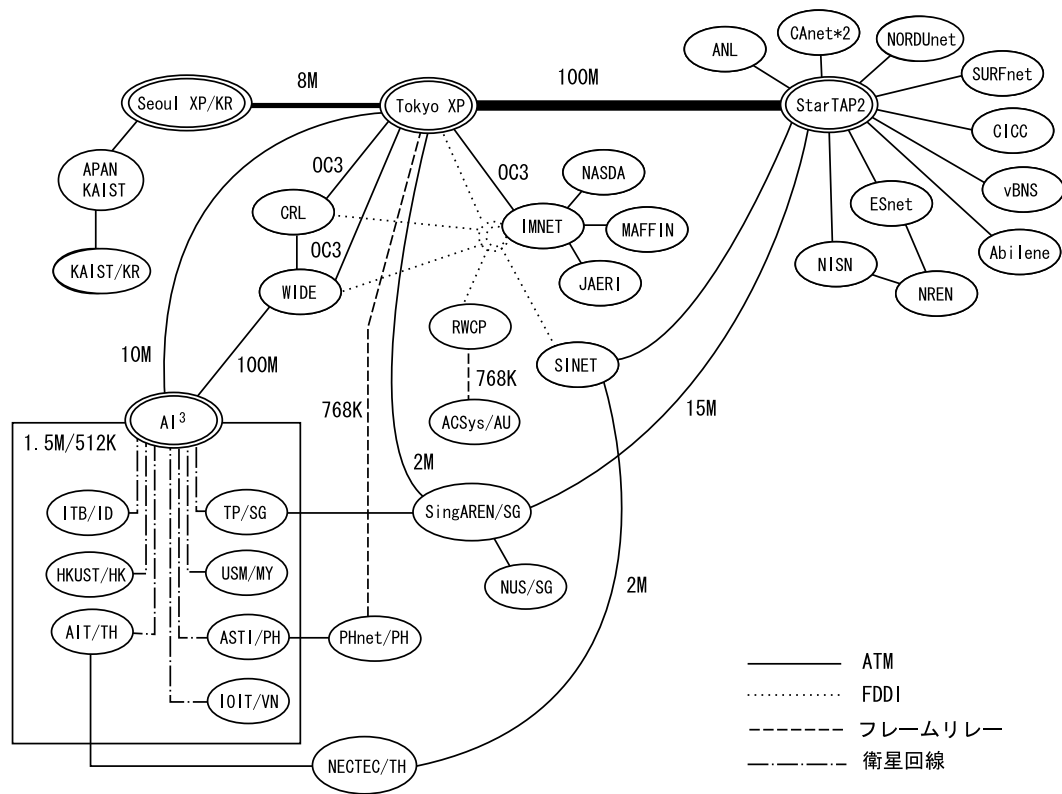


図 4.11 R&D 関係の国際回線接続における AI<sup>3</sup> ネットワークの位置

4.3. 国際ネットワークとして機能するインターネット技術実証基盤

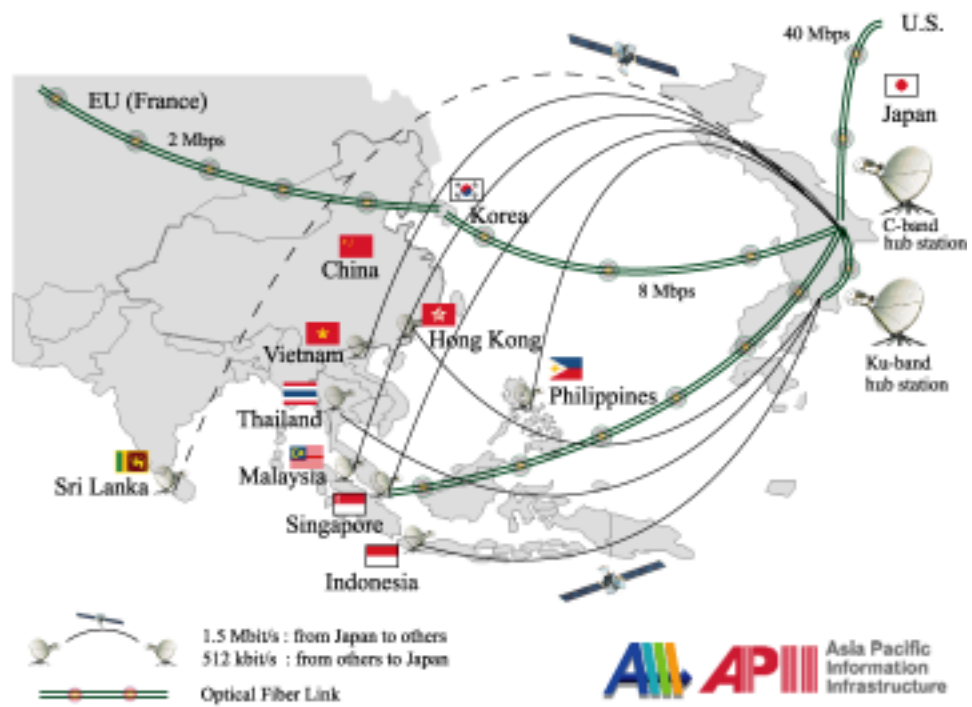


図 4.12 AP3 テストベッドと AP<sup>3</sup> ネットワークの連携



## 第 5 章

### 結論

1996 年に開始されてから本研究で述べてきたインターネット技術実証基盤環境 AI<sup>3</sup> ネットワークは一部の地球局が脱落したものの、システム全体として 5 年間以上もの間、稼働し続けてきた。その間、多くの国際協力が実施され、インターネットに関する技術開発や技術普及に本論文で構築したインターネット技術実証基盤環境 AI<sup>3</sup> ネットワークは貢献した。

アプリケーション技術開発については、AI<sup>3</sup> ネットワークはアジア地域の研究者が先進的な Web キャッシュシステムを開発する場として、また、国際的な遠隔医療実験システムを実証の場として貢献した。

インターネット回線の普及においては、アジア地域の降雨量の多い熱帯地方で利用されていなかった Ku-band 衛星回線がインターネット利用できることを実証した。この成果はアジア諸国をカバレッジに納める Ku-band トランスポンダを搭載した衛星の利用促進を貢献した。

本研究において構築したインターネット技術実証基盤環境は、持続的な人的資源の教育開発にも役立った。インドネシアの事例を引用すると、アジア通貨危機がインドネシアに波及した時、AI<sup>3</sup> ネットワークのみが学術研究目的で利用可能なインターネットバックボーンとして生き残り、他の商用 ISP などによるバックボーンはほとんどサービス停止か回線帯域の大幅縮小へ追い込まれた。通貨危機の間、AI<sup>3</sup> ネットワークのリム局が設置された ITB はインドネシアにおける人間開発にメーリングリストを通じて主導的な役割を果たした。その結果、ITB が運営するメーリングリストは今では 1 日あたり 70,000 メールを越えるほどの国内インターネットコミュニティを育んだ。ベトナムのような他のアジア諸国でも同様の人間開発の効果が強く期待されている。

アジア地域における今後のインターネット基盤を考える時、今後のアジア地域の人間開発を視野に入れることは重要な意味がある。

2001年12月現在、アジア地域における人材育成やインフラ整備、情報技術分野の促進が課題となっている。これは ASEAN 諸国において急務の課題であり、また日本の貢献が大きく期待されている分野でもある。例えば、2001年11月に開催された東南アジア諸国連合での首脳会談 [49] では、日本が経済分野で ASEAN を支援するとともに、メコン川流域開発、特にインフラ整備に対する ASEAN と日本の協力がうたわれている。

このように APEC や ASEAN といった枠組の中でアジア地域における国際協力と日本の果たすべき役割は今後ますます重要となっており、その中でアジア地域内をカバーするインターネット基盤の整備は必要不可欠である。

国連開発計画 UNDP ( United Nations Development Programme ) における 2001 年「新技術と人間開発」[50] では技術普及における問題点に触れている。市場は技術の進展に大きく寄与する力を持っているが、貧困を克服するために必要な技術の創出や普及を十分後押ししていない。例えばインターネット基盤が世界的にみて不均一に普及しているのがよい例である。OECD<sup>1</sup> 諸国のインターネット利用者は全世界の 79 % を占めている。一方、アフリカ全体の国際回線の帯域幅はブラジルのサンパウロより少ない。ブラジルを含む中南米全体の国際回線の帯域幅は韓国のソウルのそれとほぼ同じくらいである。

技術革新とグローバル化は新しいネットワーク世代を生みつつある。この社会現象は技術の創造や普及過程に大きく影響を及ぼすものと思われる。例えばタイとベトナムで開発されたマラリア新薬は、地元の知識もさることながら国際的な共同研究がもたらした成果でもある。そうしたなかで科学研究領域では複数の組織や国々の間での共同研究が加速しつつある。また今日、日本や欧米諸国の大企業は研究施設や工場を海外へ置き、世界に張り巡らされる情報インフラストラクチャは企業活動に欠かせないものとなっている。インドを拠点とするインターネットを使ったオンラインサービスは、世界中のクライアントを対象にリアルタイムでソフトウェアサポート、データ処理、顧客サポートなどを実現するに至っ

---

<sup>1</sup>OECD ( Organisation for Economic Co-operation and Development: 経済協力開発機構 ) とは、先進工業国を中心とする経済に関する国際協力機関。そのメンバーは欧州諸国、アメリカ、日本など 29ヶ国の先進工業諸国から構成されている。



---

ている。

本研究で構築したアジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境は、こうした時代的要求に応えるためのインターネット基盤をアジア地域へ浸透させる意味で起爆剤となった。アジア地域におけるインターネット技術実証基盤環境はさらに今後も通信帯域やネットワークポロジィといった形を変えこそすれ、必ず存続してゆくはずである。アジア地域の風土環境、通信基盤の整備状況といった複雑な環境要因を排除して、アジア地域へ速やかに均一な通信条件をもったインターネット技術実証基盤環境を構築するための指針を本研究は示した。



## 謝 辞

本研究の機会を与えて下さり、研究の方針や内容について多大なる御指導、ご鞭撻を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授 山本平一先生、同大学 情報科学研究科 教授 千原國宏先生、同大学 情報科学研究科 教授 山口英先生に深甚なる謝意を表します。特に山口英先生には、本研究プロジェクトにおける国際的な研究フレームワークのもと、多くの発表や実験の機会を持たせていただきました。重ねて御礼申し上げます。

本論文の作成につきまして、ご厚情に満ちた御指導、有益な御教示を賜りました奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科教授に厚くお礼申し上げます。

アジア地域へインターネット技術実証基盤環境を構築・運用するにあたり、機材、回線ならびに運用面から協力していただいた、WIDE プロジェクト、AI<sup>3</sup> プロジェクト、JSAT 株式会社、そして独立行政法人 通信総合研究所に厚くお礼を申し上げます。

常日頃からお世話になり御助言をいただきました、情報ネットワーク講座の皆様、計算機言語学講座の皆様、OB・OG 諸氏に感謝いたします。そして、インターネット技術実証基盤環境 AI<sup>3</sup> ネットワークの実験運用時に多大な御協力をいただいたインドネシア共和国 Institute Teknologi of Bandung の元研究スタッフ Onno W. Purbo 博士ならびに同研究スタッフの Intan Ahmad 博士、Basuki Suhardiman 氏ならびに Achmad Husni Thamrin 氏、香港科技大学の Charles Choy 氏、タイ王国 Asian Institute of Technology の Kanchana Kanchanasut 助教授ならびに Olivier Nicole 氏、シンガポール共和国 Temasek Polytechnic の Leong Kit Hoong 氏、マレーシア Universiti Sains Malaysia の Sureswaran Ramadass 博士、フィリピン共和国 Advanced Institute of Science and Technology の Denis F. Villorente 氏、ベトナム社会主義共和国 Institute of Information Technology の Tran Ba Thai 氏、ベルギー王国 Catholic University of Louvain の Communications and

## 謝 辞

---

Remote Sensing Laboratory 研究員 榎田敏之氏に心から感謝いたします。

奈良先端科学技術大学院大学への社会人留学を許可いただき、また研究の機会を与えていただいた、学校法人 加計学園 倉敷芸術科学大学 加計 孝太郎理事長、産業科学技術学部 一村稔研究科長、芸術学部 蛭田二郎研究科長ならびに元芸術学部助教授の濱崎修平氏に厚く御礼申し上げます。また、倉敷芸術科学大学にて私の研究活動を日々支えてくれた産業科学技術学部 小林 和真助教授に厚く御礼申し上げます。

最後になりましたが、AI<sup>3</sup> プロジェクトのメンバーの皆様方に心よりお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 総務省：“情報通信白書平成 13 年度版”，財務省印刷局，2001.
- [2] 日本インターネット協会：“インターネット白書 2001”，株式会社インプレス，2001.
- [3] 内閣府：“経済白書平成 12 年度版”，財務省印刷局，2000.
- [4] 内閣府：“世界経済白書平成 12 年度版”，財務省印刷局，2000.
- [5] 北村かよ子編：“情報化の進展とアジア諸国の対応”，アジア経済研究所，2000.
- [6] B. M. Leiner, V. G. Cerf, D. D. Clark, R. E. Kahn, L. Kleinrock, D. C. Lynch, J. Postel, L. G. Roberts and S. Wolff: “A brief history of the internet”，  
<http://www.isoc.org/internet/history/brief.html>.
- [7] 村井純：“インターネット宣言”，講談社，1995.
- [8] T. ラクウェイ, J.C. ライア：“Internet ビギナーズガイド”，トッパン，1993.
- [9] 村井純：“インターネット”，岩波新書，1995.
- [10] 電通総研編：“情報メディア白書 2001”，電通，2001.
- [11] 富士総合研究所調査研究部：“アジア経済 2001”，中央経済社，2001.
- [12] 日本インターネット協会：“インターネット白書 2000”，株式会社インプレス，2000.
- [13] M. R. Macedonia and D. P. Brutzman: “MBone Provides Audio and Video Across the Internet”，IEEE Computer, Vol.27, pp.30-36, April 1994.

## 参考文献

---

- [14] Fritz Froehlich and Allen Kent: “ARPANET, the Defense Data Network, and Internet”, Encyclopedia of Communication, Volume 1, 1991.
- [15] S. Paul: “Multicasting on the Internet and Its Applications”, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [16] D. Waitzman, C. Partridge and S. Deering: “Distance Vector Multicast Routing Protocol”, RFC 1075, November 1988.
- [17] WIDE プロジェクト編: “インターネットオペレーション 原理と実際”, 共立出版, 2000.
- [18] B. HUFFAKER, E. NEMETH and K. CLAFFY: “Tools to Visualize the Internet Multicast Backbone”, Proceedings of INET’99, June 1999.
- [19] 中川郁夫, 米田政明, 安宅彰隆: “国内における地域 IX の技術動向”, 分散システム運用技術, No.7, 情処研報, 1997.
- [20] Y. Shinoda, T. Baba, N. Tada, A. Kato and J. Murai: “Experiences from the 1st Internet Disaster Support Drill”, INET’96 Conference, June 1996.
- [21] 馬場始三, 篠田陽一: “第 1 回インターネット防災訓練における生存者情報データベースについて”, インターネットコンファレンス ’96 論文集, pp.17 – 24, 1996.
- [22] N. Tada, Y. Izawa, M. Kimoto, T. Maruyama, H. Ohno and M. Nakayama: “IAA System(“I Am Alive”): The Experiences of the Internet Disaster Drills”, INET’00 Conference, June 2000.
- [23] 是枝和義, 大野浩之: “被災者情報登録機構における音声インタフェースの実装と運用”, マルチメディア通信と分散処理, No.084, 情処研報, 1997.
- [24] 多田信彦: “IAA システムの全体アーキテクチャについて”, 分散システム運用技術, No.009, 情処研報, 1999.
- [25] 是枝和義, 野田明生, 本間秀樹, 大野浩之: “災害時における電話, FAX, ページャ等の活用について”, 分散システム運用技術, No.009, 情処研報, 1999.

- 
- [26] 馬場始三, 山口英: “DNS を用いた広域負荷分散の実装”, 分散システム運用技術, No.009, 情処研報, 1999.
- [27] 石井秀治, 佐野晋: “通信衛星を用いたマルチキャストデータ伝送機構の設計と実装”, 分散システム運用技術, No.009, 情処研報, 1999.
- [28] 井澤志充: “NetNews を使った信頼性のあるデータ通信の技法”, 分散システム運用技術, No.009, 情処研報, 1999.
- [29] R. H. Zakon: “Hobbes’ internet timeline v5.4”,  
<http://www.zakon.org/robert/internet/timeline/>.
- [30] I. Merit Network: “The nsfnet backbone project, 1987 - 1995”,  
<http://www.merit.edu/archive/nsfnet/transition/>.
- [31] K. Kobayashi, K. Shinmen, S. Yamaguchi and J. Murai: “Construction of Okayama Information Highway”, Proceedings of INET’99, June 1999.
- [32] B. Huffaker, M. Fomenkov, D. Moore, E. Nemeth and K. Claffy: “Measurements of the Internet Topology in the Asia-Pacific Region”, Proceedings of INET 2000, June 2000.
- [33] S. B. Authority: “Internet code of practice”,  
<http://www.sba.gov.sg/work/sba/internet.nsf/pages/code>.
- [34] M. A. L. Paraz: “Developing a Viable Framework for Commercial Internet Operations in the Asia-Pacific Region: The Philippine Experience”, Proceedings of INET’97, June 1997.
- [35] G. V. Dias: “Managing Internet Bandwidth: The LEARN Experience”, Proceedings of INET 2001, June 2001.
- [36] “Internet is here to stay! (future of internet in sri lanka)”,  
<http://www.learn.ac.lk/learnnews/inthere.html>.
- [37] 高畑文雄, 鈴木良昭, 水野秀樹: “我が国における衛星通信実験の現状と展望”, 電子情報通信学会 論文誌 B-II Vol J 81 - B-II No.5 pp.356 - 364, May 1998.

## 参考文献

---

- [38] S. Yamaguchi and J. Murai: “Asian internet interconnection initiatives”, Proceedings of INET’96, June 1996.
- [39] S. Yamaguchi, H. Izumiya and J. Murai: “Sustainable Collaborative Efforts in Internet Development in Asia: AI3 Phase II”, Proceedings of INET’97, June 1997.
- [40] T. Baba, H. Izumiya and S. Yamaguchi: “AI3 Satellite Internet Infrastructure and the Deployment in Asia”, IEICE Trans. Commun. Vol.E84-B, No.8 pp. 2048 - 2057, August 2001.
- [41] H. Inoue, K. Kanchanasut and S. Yamaguchi: “An adaptive WWW cache mechanism in the AI<sup>3</sup> network”, Proceedings of INET’97, June 1997.
- [42] H. Inoue, T. Sakamoto, K. Kanchanasut, S. Yamaguchi and Y. Oie: “Webhint: An automatic configuration mechanism for optimizing World Wide Web cache system utilization”, Proceedings of INET’98, June 1998.
- [43] P. Tantatsanawong, H. Phien and K. Kanchanasut: “Modeling and forecasting of hourly transactions on a WWW and proxy cache server”, Proceedings of Internet Workshop’99, February 1999.
- [44] T. Umeda, T. Kuroda, O. Oshiro and K. Chihara: “A low bit-rate and real-time telemedicine system Japan and Thailand international telemedicine experiment”, Proc. 14th International Conference on Information Networking pp. 5B1.1–5B1.6, 2000.
- [45] K. Chon: “Global High Performance Research Network: an Asia-Pacific Perspective”, Proceedings of WWCA’98, March 1998.
- [46] K. Konishi, K. Chon and S. Goto: “APAN: Asia-Pacific advanced network”, Proceedings of PTC2000, January 2000.
- [47] 北辻佳憲, 小林克志, 北村泰一, 加藤朗, 小西和憲: “APAN 東京 XP の構築と運用について”, 分散システム運用技術, No.047, 情処研報 pp. 37 - 42, May 2000.



- [48] S. Yamaguchi and M. Okamochi: “Digitizing international conferences for reaching out to more communities in the world: Our challenges on UNFCCC’s COP3 and COP4”, Proceedings of INET’99, June 1999.
- [49] “Press statement by the chairman of the 7th asean summit and the three asean + 1 summits”,  
[http://www.aseansec.org/newdata/7thsummit\\_ps02.htm](http://www.aseansec.org/newdata/7thsummit_ps02.htm).
- [50] United Nations Development Programme: “Human Development Report 2001”, Oxford University Press, 2001.

## 参考文献

---

## 付録

アジア地域の学術研究機関が AI<sup>3</sup> パートナーとして AI<sup>3</sup> プロジェクトへ参加する際に、AI<sup>3</sup> パートナーが AI<sup>3</sup> プロジェクトならびに WIDE プロジェクトと締結する Memorandum of Understanding (MoU) の例を参考までにここに付記する。

WIDE プロジェクトが AI<sup>3</sup> プロジェクトの事務局機能を兼ねていることから、MoU 文中では WIDE プロジェクトと AI<sup>3</sup> パートナー間の契約となっている。

Memorandum of Understanding

Between

WIDE Project - WIDE

And

Partner – UOP

March 8, 1999

---

## TITLE

Memorandum of Understanding between the WIDE Project (WIDE) and PARTNER. (UOP) to jointly collaborate on the research activities of the Asian Internet Interconnection Initiative (AI3) . and their application environment.

## PARTIES TO THE MEMORANDUM

WIDE is a not-profit research consortium in Japan with over 100 members from the public and private sectors. Its purpose is to support and facilitate the development of the information infrastructure of a knowledge-based Japan. Its activities include promoting, managing and participating in research and development and educational activities with respect to Japan's communications networking infrastructure.

PARTNER is an university under the laws of PARTNER's country. Its activities include research and development of the advanced Internet technologies.

## RECITALS

Whereas:

1. WIDE leads and coordinates the advanced networking goals of the Internet through such activities as applications development, network engineering, and partnerships with federal R&D agencies and the telecommunications and network equipment industries. Specifically, WIDE is currently running an Asia-wide satellite Internet project called Asian Internet Interconnection Initiatives (AIII or AI3) by taking the funding responsibility to keep the satellite bandwidth for the AI3 and the hub ground station located in Japan.
2. UoP funds and supports advanced networking researches in PARTNER's country, provisioned under several agreements with participating regional

research networks and carriers, which is provided for high-performance meritorious applications amongst higher education and research institutions in PARTNER's country; and

3. WIDE and PARTNER wish to further promote their respective objectives by providing for appropriate collaborations and interconnections between the networks administrated by them.

## AGREEMENT

Now, therefore, WIDE and PARTNER agree as follows:

1. To provide appropriate ground station facility and operational resources at the PARTNER location by the PARTNER responsibility, and to provide appropriate interconnection between and among their respective members and networks for the purpose of development and pre-commercial testing and use of advanced research and education applications;
2. To collaborate on the development of common standards and technical implementations across their respective networks;
3. To promote collaboration between their constituent member organizations and institutions relating to the development of next generation networking and applications in research and higher education;
4. To encourage technology transfer from their joint endeavors to industry, thereby supporting commercialization of next-generation applications and services;
5. To collaborate with each other and other organizations to promote and encourage the interconnection of advanced networks and the deployment of next-generation Internet technology and applications around the world;
6. To collaborate with each other and other organizations to operate their networks for the traffic of the research activities of the next-generation Internet technology and applications.

7. To apprise each other of any changes in their respective networking and application policies and to collaborate on policy and governance issues with respect to the interconnection and exchanging of traffic between their member institutions.
8. To support the Satellite networking infrastructure of the AI3 collaboratively by each of the ground station is operated in a responsible manner by each of the institute.

Agreed to By:

Dated at \_\_\_\_\_, this \_\_\_\_\_ day of \_\_\_\_\_, 1999.

For the WIDE Project (WIDE)

---

Jun Murai  
Chairman of the Board Committee

For PARTNEER

---





## 研究業績

### 学術論文

1. Tomomitsu Baba, Hidetaka Izumiyama and Suguru Yamaguchi: “AI3 Satellite Internet Infrastructure and the Deployment in Asia”. IEICE Trans. Commun. Vol.E84-B, No.8, 2001 ( 3 章と 4 章に関連 )
2. 井上 博之, Kanchana Kanchanasut, 馬場 始三, 山口 英: “AI3 衛星ネットワークにおける WWW キャッシュ制御方式”. システム制御情報学会論文誌, Vol.13, No.10, pp.449-457, 2000 ( 4 章に関連 )

### 国際会議

1. Tomomitsu Baba, Suguru Yamaguchi and Jun Murai: “Report on the Progress of Asian Internet Interconnection Initiatives Project”. In *18th AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit*, Oakland, CA, April, 2000 ( 4 章に関連 )
2. Tomomitsu Baba: “Report on the Progress of AI3 Project”. In *Asia-Pacific Information Infrastructure and Seminar on Multimedia Mobile Communications*, Tokyo, June, 1999 ( 4 章に関連 )
3. Youichi Shinoda, Tomomitsu Baba, Nobuhiko Tada, Akira Kato and Jun Murai: “Experiences from the 1st Internet Disaster Support Drill”. In *INET'96 Conference*, June, 1996 ( 2 章に関連 )

## 解説

1. 馬場 始三, 羽田 久一, 井上 博之: “インターネットと WWW 技術(III) WWW サーバ技術”. 画像電子学会誌, Vol.26, No.3, pp.275 - 284, 1997 ( 1 章に関連 )

## 研究会・大会発表

1. 馬場 始三, 篠田 陽一: “第 1 回インターネット防災訓練における生存者情報データベースについて”. インターネットコンファレンス '96 論文集, pp.17 - 24, 1996 ( 2 章に関連 )
2. 宇夫 陽次郎, 馬場 始三: “頑健な電子メールサービスの構築”. インターネットコンファレンス'96 論文集, pp.25 - 30, 1996 ( 2 章に関連 )
3. 大城 理, 土居 元紀, 馬場 始三, 木村 映善, 袴田 晃司, 石原 謙, 千原 國宏: “ロボットを用いた遠隔超音波診断実験”. 日本超音波医学会基礎技術研究会資料, Vol.101, No.1, pp.23 - 28, 2001 ( 4 章に関連 )
4. 馬場 始三, 山口 英: “DNS を用いた広域負荷分散技術の実装”. 情処研報 DSM 9-7, pp.37 - 42, 1998 ( 2 章に関連 )

## その他

1. 超高速インターネット衛星総合プロジェクト プロジェクト移行前審査会委員, 宇宙開発事業団, 2001 年 11 月
2. 超高速インターネット衛星総合プロジェクト プロジェクト移行前審査会委員, 宇宙開発事業団, 2001 年 6 月
3. i-Space 総合プロジェクト要求条件確認会委員, 宇宙開発事業団, 2001 年 2 月
4. Director of Operation, Asian Internet Interconnection Initiatives Project