

解説

太平洋1万キロ決死の海底ケーブル “国際光海底ケーブルネットワーク”

新納 康彦

2003年2月、NHKのプロジェクトXは、日本とアメリカを結ぶ光海底ケーブルについて“太平洋1万キロ決死の海底ケーブル”を放映した。その年の夏に、母校武蔵工業大学環境情報学部 高田学部長にお会いしたときに「学生に国際海底ケーブルの経験談を話して欲しい」と言われ、その後客員教授として特別授業を行うこととなった。本稿は2003年から2005年にかけて行った特別授業の概要を纏めたものである。

最初、どのような授業を行えばよいのか分からなかったため、高田先生に御相談した。先生から社会でのいろいろな経験談を中心に話をしたらどうかとの御助言を頂いた。技術の解説ではなく会社での仕事の話をすることとした。慣れない授業は話が一方通行となり、まるで講演会のようなと言われた。先生の御発案で学生とのコミュニケーションをはかるため、授業の終わりに学生に質問や感想を書いてもらった。皆真面目に聞いており、それぞれ自分なりに理解して適切な質問を沢山考えてくれた。分厚い感想レポートを受け取ったとき大変嬉しく感激した。その後、学生とのコミュニケーションが改善された。本稿は、学生から出された幾つかの質問に答える形で、特別授業の概要を記したものである。

キーワード：光海底ケーブル，光ファイバ，3分割パイプ，光波長多重技術

1 「なぜ光海底ケーブルの開発にチャレンジしたのか？」

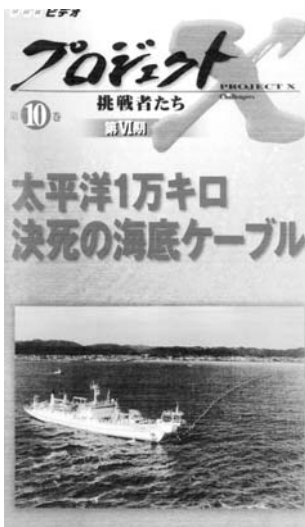


図1 NHK プロジェクトX
「日本の技術で太平洋を渡ろう」

これは一番多かった質問である。海底ケーブルの研究にあたりまず技術の歴史の勉強から始めた。新しい魅力的な「光ファイバ」に出会い、「これだ！」となった。

1.1 戦後の国際通信

今から40年前に武蔵工業大学を卒業し、国際電信電話（KDD）に入社した。入社後まもなく国際間を結ぶ海底ケーブルシステムを研究する研究室に配属された。当時、日本の国際通信は、雑音、フェーディングや混信のある品質の良くない短波通信で行われていた。欧米では既に大西洋を横断する高品質の長距離海底ケーブルが活躍していた。

日本は第二次世界大戦により通信の研究がストップ、このため日本の通信技術は欧米に大きく遅れをとっていた。東京オリンピックの年の1964年に開通した日本とアメリカを結ぶ最初の第一太平洋横断海底ケーブル（TPC-1）は、海底ケーブルシステムとケーブルを敷設するケーブルシップなどすべてはアメリカのベル研究所が開発した最新技術が使われていた。この海底ケーブルは同軸ケーブル1条で電話138回線を双方向伝送するものであり当時としては画期的な技術であった。入社後の最初の仕事は、このベル研究所が開発した端局装置の保守マニュアルを翻訳することだった。英語が不得意だったため一語一語、辞書片手に悪戦苦闘した。



図2 太平洋でのAT&Tのケーブル敷設船
ロングラインズ号 KDD丸（手前）から写す

NIIRO Yasuhiko

前武蔵工業大学環境情報学部客員教授

TPC-1の開通により、日米間の電話回線の品質は大幅に改善され、アメリカとの国際電話は「まるで市外電話並だ!」と言われた。高品質太平洋横断海底ケーブルは、日本の経済発展に大きく貢献した。

TPC-1は開通後まもなく回線が一杯となり、1975年に電話845回線の第二太平洋横断海底ケーブル(TPC-2)が開通した。このシステムもまたベル研究所が開発したもので海底中継器にゲルマニウムトランジスタを使った当時としては最新の同軸海底ケーブルシステムであった。このTPC-2のケーブル敷設工事のうち、ハワイから横浜までの間、アメリカの電話会社AT&Tのケーブル敷設船ロングライズ号に乗船する機会が与えられた。この船は約1万トンと大きく、船内の食事はホテル並で映画を鑑賞することのできる大きな部屋や無税で買える売店など、至れり尽せりで快適であった。

船上ではベル研究所の研究者と1ヶ月にわたる貴重な船旅を経験した。このとき「大洋を横断する長距離海底ケーブルはどのように敷設するのか?」を現場で直接勉強が出来たことはラッキーであった。一緒に仕事をしたベル研の研究者達は皆親切で、どんな質問にも丁寧に答えてくれた。とうとう最後は「俺の最新の研究成果はすべてお前に話した」と言われたほどすべての分野の勉強ができた。その時にはまさか自分で日本方式の光海底ケーブルを開発することになるとは夢にも思わなかった。この時の貴重な経験が後の光ファイバ海底ケーブルシステムの研究開発に大いに役に立った。

「ベル研開発の最新の海底ケーブルシステムに実際に触れる事が出来たこと」、「AT&Tの大型ケーブル敷設船に乗船出来たこと」、「最新の高速度ケーブル敷設設備を勉強できたこと」など、ケーブル敷設は、全てが面白く、興味深いものであった。

ロングライズ号は、南太平洋を時速10キロというゆ

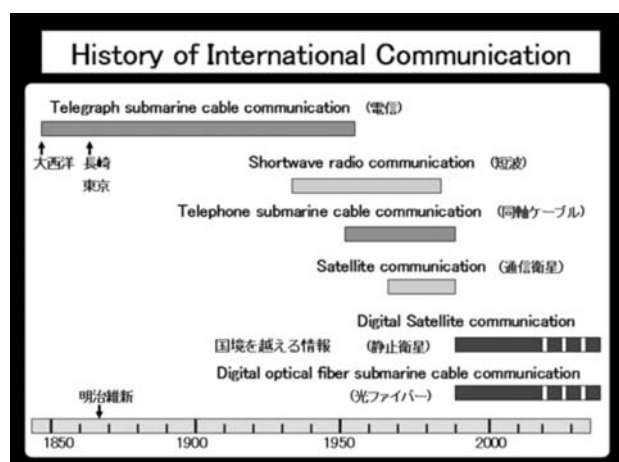


図3 国際通信の歴史
150年前に英仏間で電信海底ケーブルが開通したことが始まりである

ったりした速度で海底ケーブルを敷設しながら進んだ。デッキから見上げた夜空は、全面星が降り注ぐ素晴らしい光景であった。

1.2 同軸海底ケーブルの技術限界

KDD 研究所では、TPC-2の次の大容量海底ケーブルシステムの研究を進めていた。海底ケーブルの歴史は、1850年に英仏間のドーバー海峡を横断した電信海底ケーブルが始まりである。その後1956年に電話48回線の同軸海底ケーブル(TAT-1)が世界ではじめて大西洋を横断した。世界的な国際電話の増大に伴い同軸海底ケーブルの大容量化が進められた。1975年のTPC-2は電話845回線の方式であった。次の技術革新は何か?何千回線の方式が可能か?ということで、大口径の同軸海底ケーブル、導波管海底ケーブルや同軸デジタル海底ケーブルなど、考えられるありとあらゆる伝送技術の可能性の検討を行った。

しかし、導波管方式は、海底の高水圧で導波管が潰れる、デジタル方式は上り下り用の2条の海底ケーブルが必要になるなど基本的問題が多く実用は困難であると考えた。また大口径同軸ケーブルで1万キロもの長距離伝送を行うには、ケーブル径が数センチと大きくなりまたケーブルの損失を補償するための中継器数も多くなり雑音が大きくなるなど難問だらけで研究は思うように先へ進まなかった。

結局、同軸ケーブルの大口径化という既存技術の延長によるシステム開発は、とうとう技術的限界に至ったと思った。



図4 150年間使われた電信用海底ケーブル (アメリカSFの海底ケーブル局にて)

1. 3 光ファイバの開発

1970年にアメリカのコーニング社が世界で初めて波長0.63ミクロンで20dB/kmという低損失光ファイバの開発に成功した。これが世界的な光ファイバ開発のきっかけとなった。その後世界中の研究機関はこの新しい伝送媒体を取り上げ、伝送技術者は皆競って光ファイバの研究開発に取り組んだ。われわれ海底ケーブルの研究者が光ファイバを取り上げたのはそれから5年後の1975年頃であった。

光ファイバは、直径約0.1ミリの石英ガラスで極めて細く、大容量伝送が容易で、材料は無尽で将来価格は大幅に安くなるだろう、と言われた。前節で述べたように同軸海底ケーブルは技術的な限界だと感じており将来の技術開発で行き詰まっていた時だったため、解決策は即「光ファイバ、これだ!」となった。こうして光ファイバを海底ケーブルに応用するための新しいチャレンジが始った。

「なぜ光ファイバ海底ケーブルに挑戦したのか?」の質問に対する答えはひとつではない。(1)同軸海底ケーブル技術が限界で行き詰まっていたこと、(2)タイミング良く新しい魅力的な伝送媒体の光ファイバが出現したこと、(3)海底ケーブルの仕事は楽しくまた不思議な魅力があったこと、など幾つかの好条件が重なって本気でチャレンジすることとした。

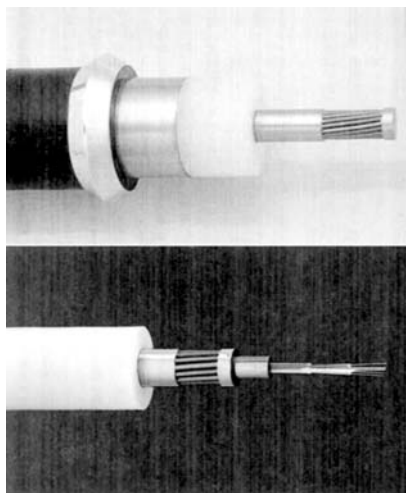


図5 同軸海底ケーブル(上)は直径5センチ以上に太くなる
光海底ケーブル(下)は直径2センチ程度と細い

2 「光海底ケーブルの開発で苦労した事は何か?」

二番目に多かった質問である。開発は失敗の連続、苦労の連続である。しかし、開発の成功によりこの苦労はやがて楽しい思い出となる。

2. 1 光海底ケーブルの開発

光海底ケーブルの開発は、1975年頃日米欧それぞれの研究機関でほぼ同時期に始まった。世界初の新技术に挑戦することは、あたかも闇夜に手探りで歩いて行くように心細いものであった。まず光海底ケーブルのアイデアを考え、1m程の短いケーブルサンプルを手作りし、引っ張ったとき、曲げたとき、水圧をかけたときや温度を変えたときなど基本的問題の改良を加えながら100m、1km、10km、50kmと徐々に長くしてゆき実用品に近づけた。ケーブルを長くするたびに問題が発生し失敗の連続であった。失敗の原因は何か、どのように解決するかをその都度学びケーブルは改良に改良が加えられた。

光海底ケーブルは、「海」という自然を相手にするため、海底の水圧、潮流、温度変化、など種々の複合条件が加わる。陸上での試験ではこの複合現象を再現することは難しく、最終的にはケーブルシップを使って、実際の海洋での海洋実験が必要であった。

2. 2 驚愕の海洋実験

1982年、試作した50kmの光海底ケーブルと2台の光海底中継器を使って二宮の実験室から相模湾に敷設を行う最初の海洋実験を行った。この世界最先端の海洋実験は新聞で大々的に報道された。実験システムを海底に無事敷設し、光ファイバによる通信が成功した。しかし、その数日後にはケーブルの損失が増え始め、日に日に悪化した。あれよあれよと言う間に通信が不通となった。何が原因で不通になったのか、考えられるありとあらゆる可能性を検討したが障害の原因は全く分からなかった。

海底ケーブルは一旦海底に敷設すると、システムに関する全ての情報はケーブルの端末からしか得られない。このため中継器内に監視装置を入れ、情報はケーブルを通して端末へ送られる。しかしこれも限られた情報なため、光ファイバと言う新しい伝送媒体の未知なる現象の問題解決には役に立たなかった。なぜ光ファイバの損失が急激に増えたのか、考えられるあらゆるシミュレーションを行った。あつという間に半年が経った。突然、実験室に引き込んでいた光海底ケーブルの端末から「赤い水が吹き出す!」という驚愕の現象が発生した。この赤い水を舐めた。塩辛かった。これは海水か?と思った。しかしなぜ赤い水が噴出するのか分からなかった。これ以上実験を継続しても時間の無駄だと思った。直ちに実験ケーブルを回収することを決断した。この決断は断腸の思いだった。というのは「なぜ1年もしないうちに海洋実験を止めるのか?」「実験ケーブルの回収には数億円もの予算が必要だ」などと言われることは分かっていた。また本音はこの原因不明の大失敗を表ざたにしたくなかったためであった。

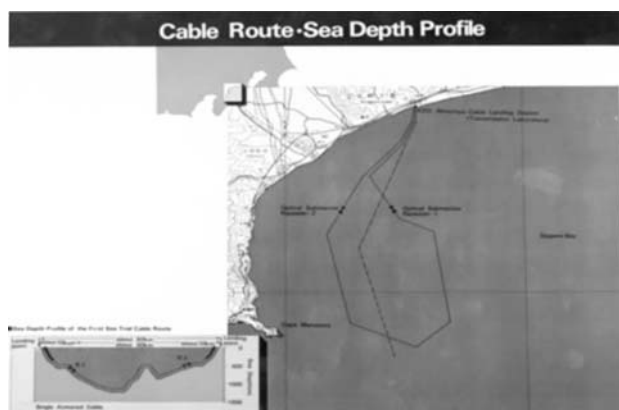


図6 1982年の相模湾での50km海洋実験ケーブルルート



図7 大々的に新聞報道された光海底ケーブル海洋実験

ケーブルシップにより中継器2台と50kmの実験用光海底ケーブルを引き上げた。驚いた事に水深500メートル近辺に敷設されていたケーブルに鋭敏な刃物で傷がつけられていた。この傷からケーブル内に海水が走り、海底中継器に直流給電をしていたためケーブル内のアルミ金属の電気分解により水素ガスを発生、そのガス圧でケーブル内の鉄サビで赤くなった海水を端末へ押し出したものだと説明がついた。

2. 3 世界的大発見—水素による光損失の増大

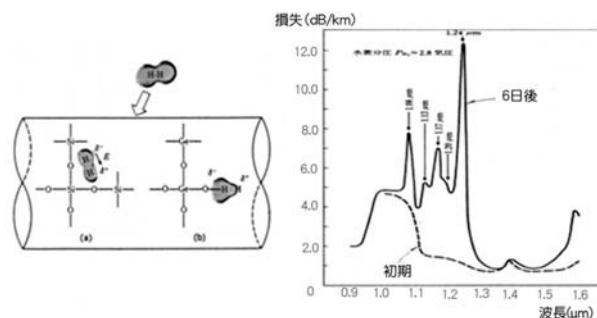
海洋実験システムが通信不能となった原因の究明が行われた。1983年、光ファイバの損失増大の実験中に偶然に水素分子による光損失の増大を発見した。実験システムの海底ケーブル内への海水の侵入、電気分解による水素ガスの発生、水素分子のガラス内への進入、水素分子による光吸収そして光損失の増大。これらの一連の疑問のつじつまが漸く明確になった。

図8は、光ファイバ内に水素分子が進入するモデルおよび水素の光吸収波長(1.24ミクロン)で光信号が損失増加する状況の実験結果を示す。この発見はイギリスの学会に発表し、世界的に大きく注目された。「水素による光損失の増大」は世界的な大発見となった。

この光ファイバの水素問題の発見は、高信頼性光ファ

イバ通信にとって基本的な問題であり、世界中の光ファイバメーカー、ケーブルメーカー、通信業者は急遽光ファイバの水素ガス対策を行った。特にケーブル材料に水素ガスを発生しやすいアルミの使用を制限し、また中継器の内部には水素ガスを発生しやすい接着剤の使用制限などの見直しを行った。光海底ケーブルは、それまで試作していたアルミ3分割パイプから水素を発生しにくい鉄3分割パイプへと材料の変更を行った。その結果、光ファイバ通信システムの長期信頼性が改善され「25年の設計寿命」の開発見とおしがついた。

海洋実験は、海底ケーブルに傷をつけられケーブル中に海水が走るという思わぬアクシデントにより通信は不通となり大失敗であった。しかし偶然にも「光ファイバの水素による損失増大」という世界的な大発見を行い、高信頼性光ファイバ通信の発展に大きな貢献をすることが出来た。



ファイバ内に拡散したH₂分子が、局所電場や酸素原子によって分極するモデル H₂を拡散させた光ファイバで現れた吸収ピーク

図8 水素分子の光ファイバへの進入、水素による光損失の増大

(日経エレクトロニクス, Vol. 357, 1984 12/3)

15年間にわたる光海底ケーブルの開発は失敗の連続であった。「光ファイバのくずの山ができた！」としかられた。「もっと大きな研究所に依頼すれば良かった!」「実用は本当に間に合うのか?」など外部からはプレッシャーの連続であった。何度も挫けそうになった。しかし、いつも失敗から新しいことを学ぶことが出来た。それからは失敗すると新しい発見の可能性があると考え「しめた!」と思った。失敗を乗り越えなければ新しい開発は実現しない。「失敗は成功のもと!」「失敗に挫けるな!」である。

3 「光海底ケーブルのアイデアはどうして生まれたのか?」

アイデアは、問題解決に四苦八苦して漸く生まれるものである。何もしないで、突然生まれるものではない。

3. 1 解決すべき基本問題の把握

新しいことにチャレンジすることほど楽しいことはな

い。見るものや聞くことすべてが新鮮である。しかし実際の開発となると事はそう簡単ではなかった。直径 0.1 ミリほどの髪の毛のように細いガラス製の光ファイバをどのようにして海底ケーブルにするのが問題であった。

まず光ファイバに深海と同等な水圧を直接かけてみた。たちどころに光の損失が増大しとても実用できるとは思えなかった。光ファイバはガラス製で脆い、また水分があるとガラス強度はたちどころに劣化する。海底ケーブルは、海底で数百気圧もの高水圧がかかる。海底ケーブルをケーブルシップから海底に敷設するときには数トンもの大きな張力が加わる、海底ケーブルは、25年以上の長期にわたり使用できなければならないなどいくつもの難問があった。

光海底ケーブルに対するこのような要求条件を満足させるには、光ファイバを細い金属パイプに入れて機械的に保護する必要があると考えた。これが光海底ケーブルを実現する上での基本的な考えでありここからアイデアが生まれた。

3. 2 3分割パイプの考案

繊細な光ファイバを保護するための、外形6ミリ内径3ミリ程の細く且つ肉厚で、長さ50キロメートルもの長い金属パイプをどのようにして作るのか？しかもパイプの中心に光ファイバを入れなければならない。朝から晩までパイプのことばかり考えていた。細い注射針から直径1メートルもの土管に至るまでありとあらゆるパイプを観察した。図9に示すように考えられる幾つかのアイデアについてそれぞれ特許出願した。先ずは思いつく案を整理する事から始めた。これらの中で、ケーブル製造上有望と思えた「案A」の断面扇型の異形線を3本組み合わせることにより金属パイプを構成する3分割パイプ案を選定した。試作に使用した材料は、ケーブルによく使われる銅、鉄、アルミなどを候補とした。

この金属パイプ構造は単純で数十 km の長尺のケーブルを容易に製造できると考えた。特許を出願したがすぐ「拒絶」された。理由は「容易に考えられる」というものであった。この基本案が拒絶されては開発が進められないと考え、特許庁に試作品、図面などを持って「容易

ではない、特許として妥当である」と異議申し立てに行った。審査官に必死に説明し説得をした。最後に「早く言ってくれればいいのに」と言われた。後日、ようやく特許権がおりた。

図11に光海底ケーブルの中心部の断面写真を示す。鉄3分割パイプの中に6芯の光ファイバが収容されている。3分割パイプの外側には14本のピアノ線が配置されその外側に銅のパイプで抑えている。金属線の間隙は、海水が走らないようにプラスチック材料が充填されている。この光海底ケーブルは、水深1万メートル以上の深海に敷設でき、10トン以上の張力に耐えられる。

光海底ケーブルは、図12に示すように日、米、欧でそれぞれ異なるケーブル構造で開発競争が行われた。最終的に実用になったのは、われわれの鉄3分割パイプ構造とアメリカベル研究所のケーブル構造で他のケーブル構造は競争で消えていった。良い製品は自然に残るものである。この海底ケーブル特許を中心にして、システムに関する特許を取得、これら技術資産をベースに

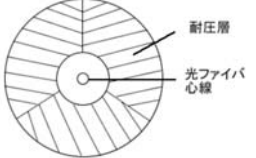
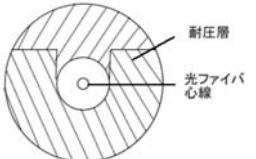
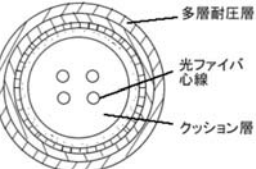
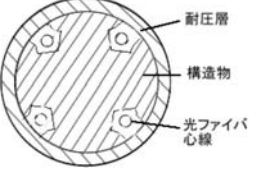
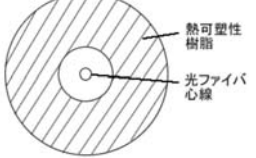
種類	構造	特許・実用新案
A. 分割形耐圧層		日本特許、昭和59-7361 USA, Pat, 4422718 UK, Pat, 2017968 France, Pat, 7907891
B. 溝ブタ形耐圧層		USA, Pat, 4422718 France, Pat, 7907891
C. 多層円筒形耐圧層		USA, Pat, 4432605 UK, Pat, 2018454 France, Pat, 7908913 日本実新、昭和61-20563
D. 構造物形耐圧層		USA, Pat, 4257675 a UK, Pat, 2017967 日本実新、昭和59-5841
E. 熱可塑性樹脂形耐圧層		

図9 光海底ケーブル 耐水圧パイプのアイデア



図10 光海底ケーブル米国特許
(特許-4422718, 1983年12/27)

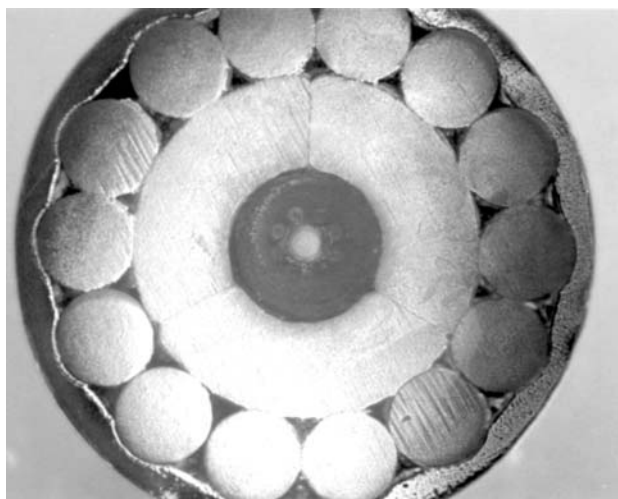


図11 鉄3分割パイプの断面写真
中心に光ファイバが収容される

して小さな海底ケーブルシステム会社を設立した。このベンチャー会社は、技術力により欧米の海底ケーブル会社との受注競争に勝ち抜いて世界中の海域に延べ10万キロ以上の最新の光海底ケーブルを敷設した。

新しく事業を起すとき、特許権を確立しておくことは、競争上重要であることを授業で話した。最初の基本的アイデアが重要で、独自のアイデアにより事業は競争に耐えられる。例え拒絶されても、審査官を説得できる自信を持ったアイデアでなければならない。アイデアは、基本的な問題をよく理解し、解決案を徹底して考えることから生まれる。何日も続けて考えているうちに、ヒント

が得られる。短時間でよいかから一つの事に集中して考えることが重要である。何となく漠然と考えていたのでは何日経っても良い案は浮かばない。

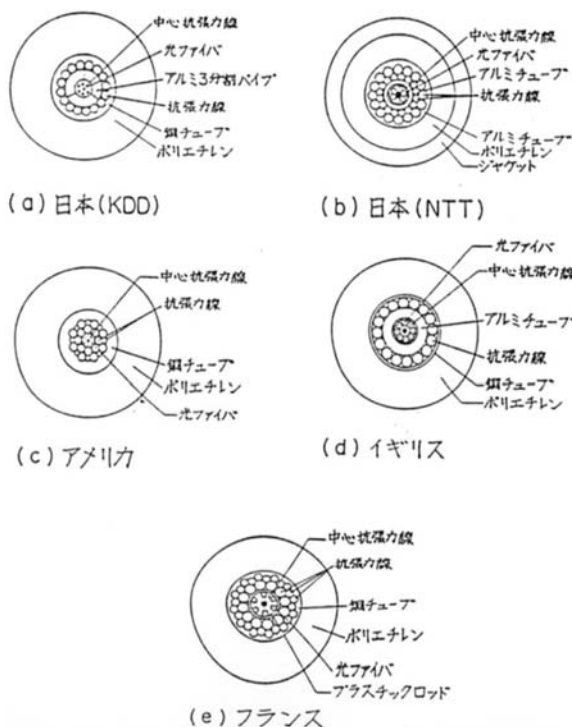


図12 各国で開発されていた光海底ケーブル構造

4 「衛星通信と光海底ケーブル通信の違いは何か？」

いまだに国際通信は衛星通信で行っていると思っている人が多い。日本の国際通信は光海底ケーブルで行われている。

4.1 相互補完の関係

1960年代に始まった衛星通信と海底ケーブル通信は、無線と有線というそれぞれの特徴を生かしながら技術競争を行いつつ発展した。衛星通信は、3個の衛星で全世界をカバー出来る、アンテナと地球局があれば国際通信が経済的にできる、衛星テレビなど放送が出来るという優れた特徴を持つ。一方、海底ケーブルは、遅延時間が短い、通信が安定している、秘密保持が容易など異なる特徴を持っている。国際通信にはどちらを使うのか？どちらが有利なのか？どちらが安いのか？など技術上、経済上の真剣な論争が繰り返された。長い間の論争の結果、衛星通信と海底ケーブル通信は、海底ケーブルが漁業などで切られたとき衛星通信に切り替えて通信を途絶えることなく疎通させるという「相互補完の関係」で決着がつき、その後それぞれが協力して発展した。

相互補完の関係は30年間ほど続くが、1995年のTPC-5の建設により衛星通信は技術的にも経済的にも光海底ケーブルに劣ることとなった。これにより長期間の論争に決着が付き、国際通信は「光海底ケーブルの時代」へと歴史が塗り替えられた。

4.2 国際通信は光海底ケーブルの時代へ

光海底ケーブルが実用化され、1条の海底ケーブルで多量のデジタル伝送が可能となり、衛星通信では价格的にも容量的にも太刀打ち出来なくなり国際通信は光海底ケーブルが中心となった。これは1995年に建設された容量10GbpsのTPC-5(約14万回線)が始まりであった。TPC-5は大容量のためもはや衛星通信では回線復旧が困難となった。このためTPC-5は総長2万5千キロに及ぶ光海底ケーブル2条を敷設しこれをループ接続してケーブル障害時にはケーブル自身で回線復旧を行う構成とした。これによりインターネットもテレビ中継も光海底ケーブル経由となった。衛星通信は、飛行機、自動車、船など移動体通信やデジタルテレビ放送など限られた分野のみで使われることとなった。

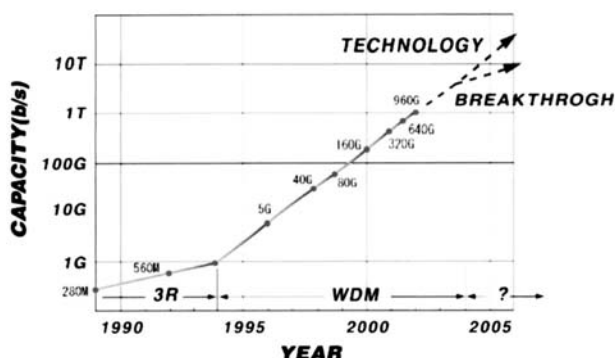


図13 光海底ケーブルシステムの技術進展

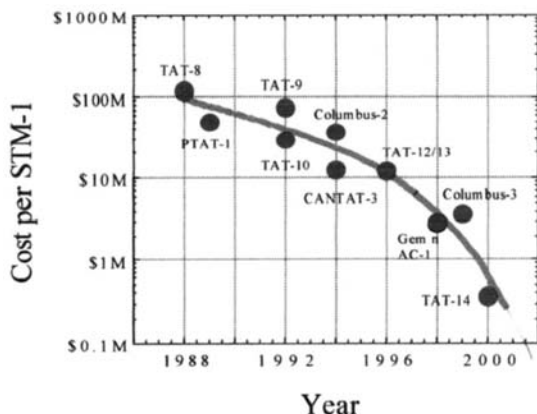


図14 光海底ケーブルシステムの回線当たり単価の低減化 (Akiba, The Future of Optical Communications)

光海底ケーブルの大容量化は、図13に示すように過去

15年で急激に進展した。過去15年間に容量は3桁以上も増大し、現在では光ファイバあたり1テラビット、8対で計8テラビット、これは電話換算で何と「一億回線以上!」の超大容量海底ケーブルシステムが実現している。大容量化開発が急激に進められた結果、光ファイバの伝送限界の数十テラビットに近づきつつあり、将来の容量増大には、現在の伝送技術と全く異なる新しいコヒーレント伝送技術などの開発が必要とされている。

光海底ケーブル方式の技術開発、特に光増幅器と光波長多重技術の導入により、図14に示すように回線当たりの単価は15年間で千分の一以上に大幅に安くなった。これにより国際電話料金は大幅に安くなった。またこの安い伝送路コストは1990年代に始まったインターネットの世界的な普及に大きく貢献した。光海底ケーブルが大幅に安くなった結果、衛星通信は経済上太刀打ち出来なくなり国際通信は光ファイバ時代となった。これは新技術導入により価格が劇的に下がったという典型的な例である。

5 「国際光海底ケーブルネットワークの将来は？」

光海底ケーブルの開発に成功したあと、どうなったのか。

5.1 光海底ケーブル「年間最優秀製品」に選ばれる

特別授業では「継続は力なり」と何度も言った。どんな事でも直ぐに諦めずに、粘り強く頑張れば長い年月の間には世界一になることも夢ではないということである。光海底ケーブルプロジェクトは研究を開始してから15年経過してようやく実用化できた。その間、多くの失敗があり何度も開発を止めようかと諦めかかっては、気を取り直し頑張った。その結果、欧米諸国に負けない世界一の光海底ケーブルシステムが実現できた。



図15 光海底ケーブル、最優秀製品に選ばれる、審査中のところ

10年で一人前，20年で一流，30年で世界一となる。それまでは歯を食いしばって粘り強く頑張った。光ファイバを使った最初の太平洋横断海底ケーブルは，1989年に開通した TPC-3 である。TPC-3 は，最初のデジタル方式で 280Mbps の伝送速度，4000 回線の容量であった。TPC-3 が運用開始してまもなく，FM 放送のアナウンサーが「今日のニューヨークからの国際電話は何時もと違い雑音もなく明瞭です」と放送した。ドライブ中の車の中でこれを聞き「やった！これは TPC-3 経由に間違いなし」と涙が出るほど嬉しかった。一般の人は，国際電話が衛星経由か海底ケーブル経由か分からないのは当たり前であるが，私は，微妙な雑音の違いや会話の時間遅れの差から分かった。

日経新聞社では毎年年間の優秀製品を選んでいる。TPC-3 は日本の独自技術，最初の太平洋横断光海底ケーブルということで 1989 年の「年間最優秀製品」に選ばれた。TPC-3 は，開通後 15 年間大きな故障もなく運用され，2004 年にリタイヤした。TPC-3 成功の後，国際通信需要はますます増大し，1992 年には 560Mbps の TPC-4，その後，1995 年には 10Gbps の TPC-5 とつぎつぎと大容量システムが開発され建設された。

5. 2 世界的な光海底ケーブルの建設ラッシュ

同軸海底ケーブルは，1956 年の TAT-1 敷設以来，30 年間に世界の海域に敷設した総延長は約 30 万キロであった。一方光海底ケーブルは，1988 年に TAT-8 が敷設されてから 15 年間に世界の海域に敷設された光海底ケーブルの総延長は約 80 万キロとなった。同軸海底ケーブルに比べると半分の期間で 2.5 倍のケーブル，すなわち光は同軸より 5 倍ものスピードで海底ケーブルを建設したことになる。さらに光技術の新開発により 15 年間で 1 万倍もの大容量化開発が行われた。

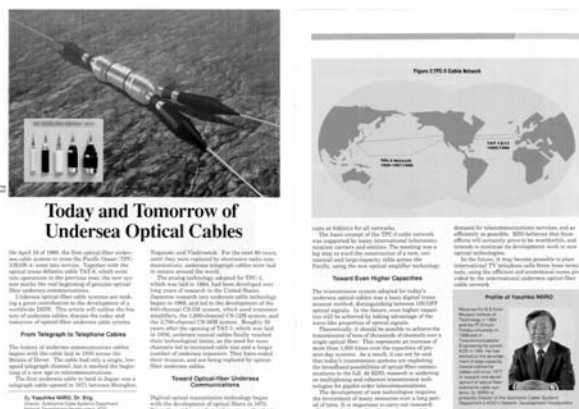


図 17 1996 年，2万5千キロの巨大ループ TPC-5 の完成 (Konchiwa SUMMER 1991)

5. 3 光海底ケーブルの供給過剰時代へ

1990 年代のアメリカは，「世界はいずれ情報技術 (IT) 時代となる！」「IT が国力を決める！」「IT を制するものが世界を制す！」など，勇ましい掛け声の下で IT 化が積極的に進められた。インターネット需要は急激に増大し，国際回線需要は年率 100% で伸びると本気で信じられていた。このため通信会社のみでなく世界の投資会社もわれ先にと光海底ケーブル建設への投資に走った。この急激な巨大投資により世界の光海底ケーブルサプライヤや光海底ケーブル工場は超多忙となった。ケーブル製造は増産につぐ増産となり，ケーブル工場の拡張，設備の増設が次々に行われた。また海底ケーブルの敷設に必要なケーブルシップも世界的に不足状態となり，造船所へ新船の発注が相次ぎ，造船所も超多忙となった。この結果，図 18 に示すように 1999 年から 2001 年にかけて光海底ケーブルの建設は異常に増大した。全世界の海底ケーブル敷設は通常年間 3 万キロ程度であるが，この異常時には年間 18 万キロと 6 倍も多く敷設された。その結果，光海底ケーブルの世界的な供給過剰時代になった。



図 16 1989 年，太平洋で最初の光海底ケーブル TPC-3 の運用開始 (Konchiwa SUMMER 1989)

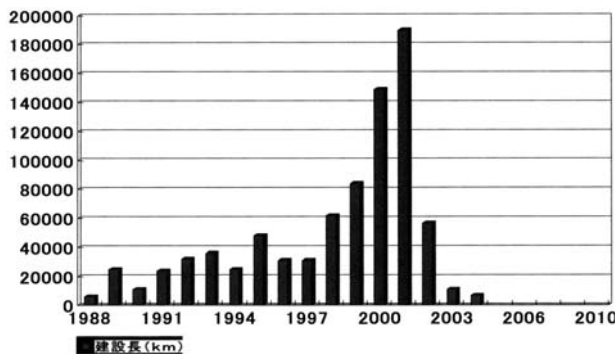


図 18 世界の光海底ケーブル建設長 (km)

通信会社や投資会社から「大洋横断の光海底ケーブル容量は小さすぎる，300 倍から 500 倍大きい光海底ケーブルにすべきだ」と勇ましいハッパをかけられた。その

時、関係者はとんでもない仮想需要に目がくらんでいたのだ。しかし、皆誰もがこの大きな流れに乗りたくて必死で、誰一人光海底ケーブルの建設を止めろという人はいなかった。全世界がブレーキの利かない暴走状態になっていたのである。その結果、2001年から2002年にかけてワールドコムなどアメリカの巨大通信会社が次々と破綻した。光ファイバネットワークに過剰な巨大投資をしたが、回線需要が予想どおりに伸びず、その結果資金の回収が出来なくなり、経営破綻したものだ。これは後に「ITバブルの崩壊」と言われ世界経済に多大の悪影響を与えた。

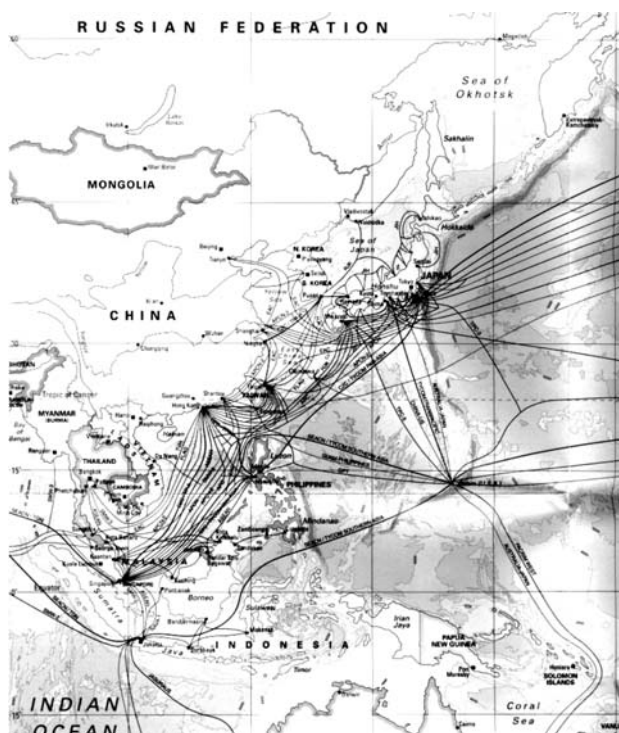


図19 日本近海国際光海底ケーブルネットワーク (タイコ社、グローバルネットワークより)

5.4 “Everything over IP” 時代へ

日本国内のインターネットトラフィックの伸びは相変わらず活発であり、年率50%近くの伸び率で増大している (JPIX データより)。今や「何でもインターネット時代である」。電話もとうとう Voice over IP 時代となった。これは光ファイバやパソコンなど情報機器の価格低減化がその普及に大きく貢献した。太平洋横断の光海底ケーブルは、当初は1プロジェクト当たり一千億円以上の建設費であったが、ITバブル崩壊により、過剰設備となった光海底ケーブルは建設費の1/20-1/40 という超安値で売却され、太平洋横断の国際通信はタダのように安くなった。この超安値の光ファイバ伝送路は、インターネットサービスの拡大の追い風となり、世界的なネット拡大が加速された。

アメリカのブッシュ元大統領は「国際光海底ケーブルは世界平和に貢献する」と述べ、光海底ケーブル会社 (グローバルクロッシング社) の顧問をやっておられた。図20は、グローバルクロッシング社と太平洋横断光海底ケーブルの共同建設を行っていたとき、ブッシュ元大統領とお会いした写真である。



図20 ブッシュ元大統領と (1998年4月スペインにて)

6 将来の国際光海底ケーブルは?

2005年現在、太平洋を横断している長距離光海底ケーブルは6システムある。これら光海底ケーブルの全容量は10Tbps 近くになる。この中で実際に使用されている容量は1Tbps 程度であると言われており、まだ90%近くの空き容量がある。このため2010年頃まで、新しい光海底ケーブルの建設は不要であると考えられる。一方、国際通信は特定の海底ケーブルに依存しすぎると、通信の安全上の問題が起きかねない。このため国際トラフィックは幾つかのルートに分散すべきであるということで新たな太平洋横断光海底ケーブルプロジェクトを計画する動きもある。

最近では、最新の波長多重技術により光ファイバ1芯当たり 10Gbps を 2000 波とか 40Gbps を 500 波など計 20Tbps 以上を伝送する方式も研究されている。このような超大容量方式は、光ファイバ伝送の第一世代の技術限界に近づいていると言えよう。新たな第二世代といわれる光ファイバ伝送技術と新たなネットワーク設計による新しい光海底ケーブルネットワークがいずれ必要になるであろう。

学生諸君には、自分の夢を持ち続け、その実現に向けて新しいプロジェクトにチャレンジして欲しいと思う。きっと何時か君の夢はかなえられるであろう。

(2006年2月3日記)

参考文献

- [1] NHKプロジェクトX制作班編；プロジェクトX挑戦者たち 18 「勝者たちの羅針盤」日本放送出版協会 (2003)
- [2] 志村静一監修；「海底同軸ケーブル通信方式」, 電子通信学会(1978)
- [3] AT&T ベル研究所著；「情報通信システム」丸善 (1984)
- [4] 末松他；「光ファイバ通信入門」, オーム社(1983)
- [5] Mochizuki 他；「Transmission Loss Increase in Optical Fiber due to Hydrogen Permeation」
Electronics Letters, vol. 19, No. 18pp. 743-745,
Sept. (1983)
- [6] 新納康彦他；「深海用光海底ケーブルの設計と評価結果」電子通信学会論文誌 '85/1 Vol. J68-B No. 1 (1985)
- [7] 小西他；「インターネットのすべて—その仕組みと運用管理の実際—」電波新聞社(2003)
- [8] 佐藤他；「フォトリックバックボーンネットワークの先端技術」電子情報通信学会誌 2月 (2002)