



【特集】

日本と世界をつなぐ「情報の生命線」 海底ケーブル新時代

ウェブブラウジング、メール、動画の投稿や閲覧、そしてSNS……インターネットが広げた世界は計り知れない。

そのインターネットを支えているのが、世界中に張り巡らされた海底ケーブルだ。

今、日本と東南アジアを結ぶ最新の光海底ケーブル「SJC」によって、海底ケーブルが新たな進化を遂げようとしている。

160年にわたる海底ケーブルの歴史と、その未来を探る。

文・増澤 健太郎

イノベーションで読み解く 海底ケーブルの変遷

160年以上にわたる海底ケーブルの歴史は、技術革新の連続だった。そのあゆみを、日本を中心に振り返る。

情報が瞬時で海を渡る 国際通信と海底ケーブルの誕生

世界初の海底ケーブルの歴史は、1850年のドーバー海峡に敷設された海底電信線にさかのぼる。日本では、明治維新後の1871年、デンマークの大北電信会社による長崎〜上海、長崎〜ウラジオストク間に敷かれた海底電信線により、世界と結ばれることとなる。

海底から引き揚げられた、日本初の海底電信線の実物(KDDI国際通信史料館所蔵)(写真右)
1871年、日本で最初の海底電信線が敷設された長崎の小ヶ倉千本に建設された大北電信会社の海底線陸揚庫。陸揚庫は、陸揚げされた海底電信線を国内の陸線と接続するところ(左)
海底線陸揚庫の中の予備通信席(左下)
英仏間を結ぶドーバー海峡での世界初の海底電信線の敷設工事(1851年、Illustrated London News)(右下)



モールス符号による「トン・ツー」である。当時の海底電信線の構造は、銅線を樹脂で覆い、その周りを鉄線で補強したものだ。世界中に海底電信網が広がっていった20世紀の初め、短波による無線電話が発明される。1927年に米英間で始まった長距離国際電話も、短波無線を使用した。電話が海を渡るには、海底用同軸ケーブルと中継器の開発が必要だった。ここで海底ケーブルは、国際通信における



主役の座をいったん電波に譲る。日米間の国際電話も、60年代までは短波で賄われていた。しかし、回線数が限られ、雑音やフェーリングが多く、品質も安定しなかったため、新たなインフラ構築が待たれていた。

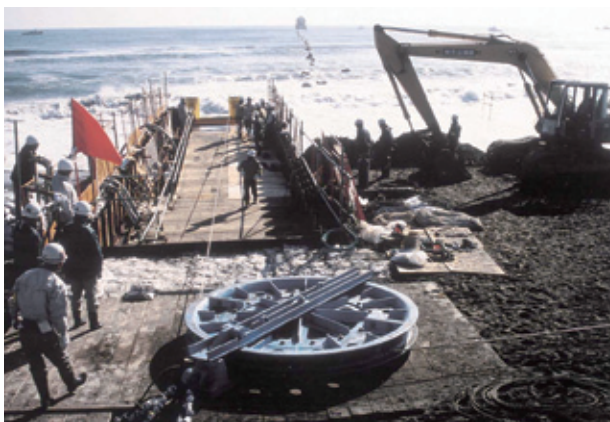
海底ケーブルが再び国際通信の主役に

1964年6月、KDD(現KDDI)と米AT&Tは、日米間初の海底同軸ケーブル「第1太平洋横断ケーブル」(TPC-1)を開通させる。電話138回線分を同時に賄え、海底ケーブルは再び国際通信の主役に返り咲く。

だが、TPC-1の容量はすぐに逼迫し、76年にはTPC-2(845回線)が完成する。これ以上の容量増加には、同軸ケーブルをより太くするか、デジタル化するしかない。同じころ研究が始まっていたのが、人工衛星を使った衛星通信と、ファイバーを使った全く新しい形の海底ケーブル通信であった。

ファイバー一本につき、一つの信号しか乗せられなかった。ところが、光をそのまま増幅できる「光増幅方式」が中継器に利用できるようになったこと、この概念が覆る。つまり、始点と終点(端局)の装置で波長の異なる光のやり取りができれば、一本のファイバーで何重もの信号(情報)を乗せられるようになる。これが「光波長多重」技術である。

1995年に開通した「第5太平洋横断ケーブルネットワーク」(TPC-5CN)では、光増幅方式を中継器に用いることで、電話6万回線相当×2波×2本の大容量を実現する。故障などの際のバックアップは、もはや衛星通信では代替できないほどの大容量となり、同じスペクトルの海底ケーブルを北回り、南回りとループ状に



1994年、宮崎県宮崎市に陸揚げされる第5太平洋横断ケーブルネットワーク(TPC-5CN)



米ロングライズ号から神奈川県二宮へ陸揚げされる、日米間初の海底同軸ケーブル第1太平洋横断ケーブル(TPC-1)。その下の写真は、TPC-1の開通式

1989年、太平洋初の光海底ケーブル「TPC-3」開通

KDDは70年代半ばから、最も将来性のある海底ケーブル通信の手段をファイバーと見据え、メーカー各社とともに、国際的な競争力のある光海底ケーブルの研究・開発を続けてきた。その結果が、1989年に開通した太平洋初の光海底ケーブル、「第3太平洋横断ケーブル」(TPC-3)である。電話3780回線を実現した光海底ケーブルの実用化には、多くの課題をクリアする必要があった。

信号が流れる髪の毛ほどの細さのファイバーは、主に石英でできていたため折れやすい。また、光海底ケーブルは中継器に電力を供給しながら、塩害や腐食、浅海での漁業・漁具による破損、そして日本海溝の最深部では約1トにもなる水圧から

敷設した。80年代、衛星とケーブルの比率が約6:4だった国際通信は、船舶や移動体などの通信を除き、ほぼすべて光海底ケーブルを使う時代になり、テレビからも「衛星生中継」という文字が消えることになる。

光波長多重技術では、端局装置の性能が改善されると、伝送できる容量が飛躍的に高まるものも大きなメリットだ。2000年に開通した「China-US」は容量80Gbps。翌年に開通した「Japan-US」では640Gbpsに、2010年開通の「Unity」ではさらに4.8Tbps(テラは1兆)へと激増している。

そして今、新たなイノベーションが、光海底ケーブルの進化を一段と進めようとしている。

海底ケーブルの略年表

海底ケーブルの出現と広がり

- 1850年 ● 世界初の海底電信線がドーバー海峡(英ドーバー-仏カレー間)に敷設
- 1866年 ● 大西洋横断海底電信線が開通
- 1871年 ● デンマークの大北電信会社による長崎〜上海間、長崎〜ウラジオストク間の海底電信線が開通(日本初の国際通信開始)
- 1902年 ● 英、世界一周海底ケーブル「All Red Line」完成

海底同軸ケーブルの普及と発展

- 1956年 ● 世界初の大西洋横断同軸ケーブル「TAT-1」完成
- 1959年 ● 「TAT-2」完成
- 1964年 ● 第1太平洋横断ケーブル(TPC-1)開通
- 1967年 ● 海底ケーブル敷設船KDD丸竣工
- 1969年 ● 日本海ケーブル(JASC)開通
- 1976年 ● 第2太平洋横断ケーブル(TPC-2)開通
- 1976年 ● 日本・中国間ケーブル(ECSC)開通
- 1977年 ● 沖縄・ルソン・香港ケーブル(OLUHO)開通
- 1979年 ● 沖縄・台湾間ケーブル(OKITAI)開通
- 1980年 ● 日本・韓国間ケーブル開通

光海底ケーブル実用化へ

- 1986年 ● 英国・ベルギー間に初の光海底ケーブル敷設
- 1988年 ● 大西洋横断光海底ケーブル開通
- 1989年 ● 日米間初の光海底ケーブル、第3太平洋横断ケーブル(TPC-3)開通
- 1990年 ● 香港・日本・韓国ケーブル(H-J-K)開通
- 1992年 ● 第4太平洋横断ケーブル(TPC-4)開通
- 海底ケーブル敷設船「KDDオーシャンリンク」竣工
- 1993年 ● APC開通

光増幅・光波長多重技術による大容量化

- 1993年 ● 日中間光海底ケーブル(C-JFOSC)開通
- 1995年 ● 第5太平洋横断ケーブルネットワーク(TPC-5CN)南回りルート開通
- 1995年 ● ロシア・日本・韓国ケーブル(R-J-K)開通
- 1996年 ● TPC-5CN北回りルート開通(ルー化完成)
- 1996年 ● APCN開通
- 1999年 ● 環日本列島情報ハイウェイ「JiH」運用開始
- SEA-ME-WE3開通
- 2000年 ● China-USケーブルネットワーク開通
- 2001年 ● Japan-USケーブルネットワーク開通
- APCN2開通
- 2008年 ● 日本・ロシア間海底ケーブル(RJCN)開通
- 2010年 ● 日米間光海底ケーブル(Unity)開通

ファイバーの能力を飛躍的に拡大 光増幅と光波長多重技術

光海底ケーブルの伝送容量は、90

年代の中ころから急拡大を遂げる。その立役者といえるのが「光増幅」技術である。

本来、ファイバーは、波長の異なる複数の光信号を同時に伝送することができ、当初の光海底ケーブルに使われた中継器は、弱まった光信号をいったん電気信号に変えてから増幅し、再び光信号に戻して送る必要がある(再生中継方式)、光

日本と東南アジアを結ぶ光ケーブル「SJC」がつなぐ未来

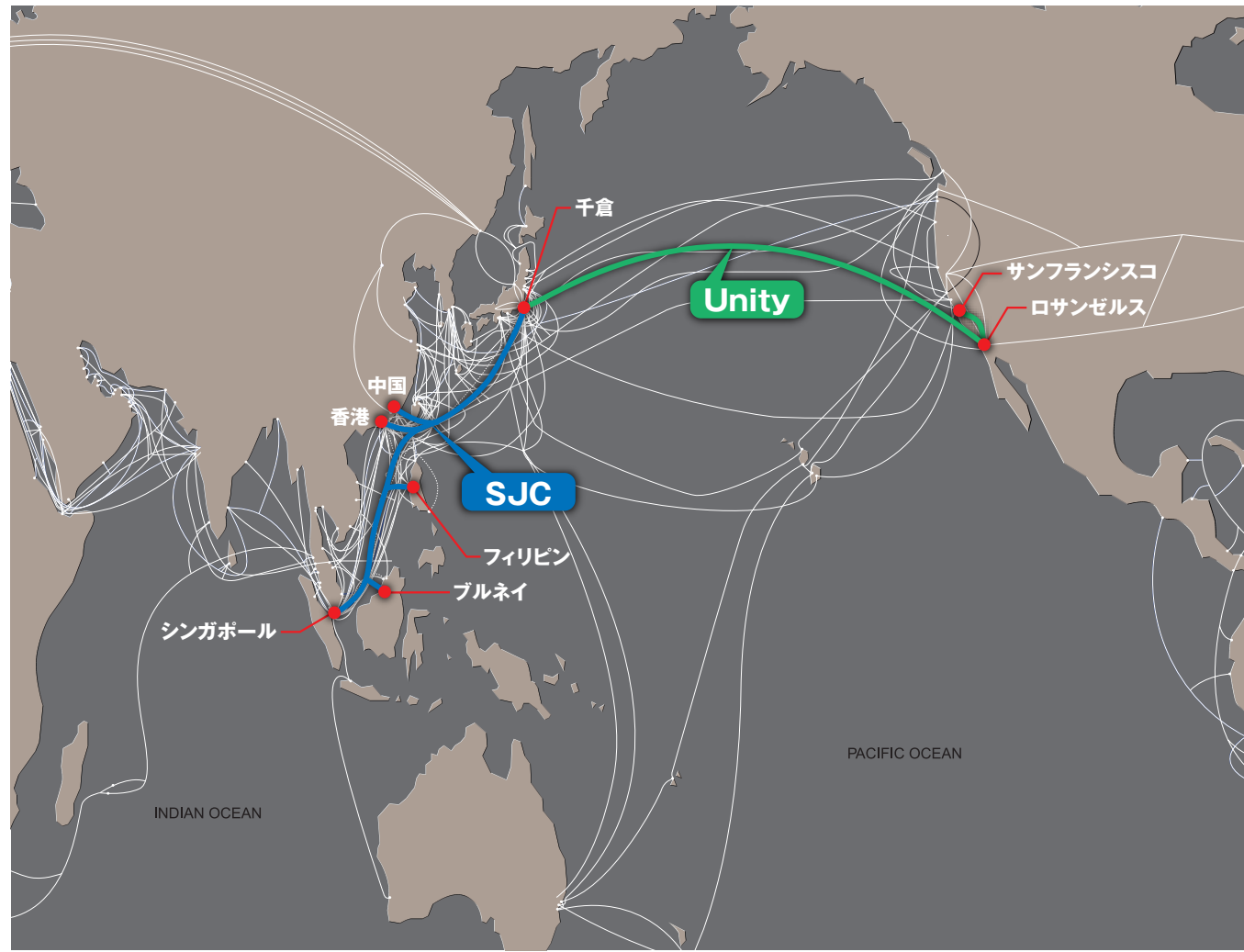
成長続く東南アジアと日本を結ぶ最新光海底ケーブル「SJC」。 そこに込められた技術と狙いを探る。

技術の飛躍的な進展と
コンソーシアムが下した決断

2012年11月19日早朝。日本とシンガポールなど東南アジア諸国を結ぶ全長約9000kmの光海底ケーブル「SJC (South-East Asia Japan Cable)」が、千葉県南房総

市のKDDI千倉海底線中継センターに陸揚げされ、建設が始まった。2013年春に開通予定だ。経済発展の著しい東南アジアからの通信需要に応えるために敷設されたSJCは、今まさに進展しつつある光伝送技術のイノベーションを実現する、最新の光海底ケーブルだ。

太平洋を中心としたグローバルネットワーク図。平面地図上では分りにくいのが、地球儀上でSJCとUnityのラインを引くと、日本の本州南部近くを通ることが分かる



ケーブル敷設船「KDDI PACIFIC LINK」内のケーブルタンクに積み込まれる「SJC」ケーブル

で、KDDIをはじめとするSJC建設のコンソーシアム（共同で建設を行う企業連合）は計画を変更し、1波長当たり40Gbpsの伝送に最適化された光ケーブルを使用し、中継器を挿入する間隔を狭めることに

南房総・千倉は国際ケーブルのハブ

千葉県南房総市にある「KDDI千倉海底線中継センター」。実は、日本と東南アジア、そして米国をほぼ一直線に結ぶことのできる、いわ



2012年11月19日、光海底ケーブル「SJC」の陸揚げ工事で、千葉県南房総市千倉沖合約1kmに停泊したケーブル敷設船「KDDI PACIFIC LINK」から繰り出される光海底ケーブル

は国際海底ケーブルの「ハブ」なのだ。東南アジア諸国と北米西海岸を海底ケーブルで結ぶことを考えたとき、平面の地図上で線を引けば、グアムからハワイを経由すると近そうに見える。ところがこれは勘違いだ。地球儀で同じことをしてみると、実は日本の南が最短距離の線上にあることが分かる。

とりわけ、大需要地の東京に近く、太平洋に突き出している、しかもすぐに水深が深くなることでケーブルが傷つけられにくいという好条件を揃えている房総半島の南東部は、日米間、そして東南アジア諸国にとって、北米に至る海底ケーブルを建設する最も都合の良い陸揚げ・中継点になるのだ。

また、SJCとUnityは、新しい考え方も共有している。従来、海底ケーブルは、陸揚局までしか建設しないことが一般的だった。しか



光海底ケーブルは樹脂や金属で光ファイバーを保護し、敷設される場所の水深や海底の地質に応じ、鋼線などで強化されたものが用いられる。漁具などで障害のリスクの高い浅海部では太い外装ケーブルが、リスクの小さい深海部では細い無外装ケーブルが使われる。写真は、SJCで使われているケーブル

それが「デジタル・コヒーレント・ディテクション」と呼ばれる高速伝送技術。光ファイバーの伝送量を再び爆発的に増大させる可能性を秘め、実用化と研究が同時に進行している。デジタル・コヒーレント・ディテクションとは、それまで光の点滅（振幅）によって伝えていたデータを、光の周波数における位相変化によって伝送することで、一つの光（波長）に乗せることのできるデータの量を何倍にも増やす画期的な技術である。これは、身近な例でいえば、ラジオのAM（振幅変調）からFM（周波数変調）への進化に似ている。こうして、長らく1波（一つの光波長）当たり10Gbps（ギガ

は10億）が限界とされてきた常識が破られ、SJCでは、当初から光ファイバー一本当たり40Gbps x 80波=3.2Tbps（テラは1兆）を伝送できる予定となっている（総容量は16Tbps）。SJCは、2010年開通の日米間光海底ケーブル「Unity（ユニティ）」との接続を念頭に計画されている。Unityは、デジタル・コヒーレント・ディテクションの実用化が進展する前に建設されたケーブルで、光ファイバー一本当たりの伝送量は10Gbps x 96波、およそ1Tbps。SJCも当初は同じ規格で計画されていた。ところが、急速な変革が起きる中

しUnityでは、陸揚局のロサンゼルスから、需要家が多く集まるシリコンバレーのデータセンターまでの中継回線も一体的に提供している。SJCにもこの考え方が持ち込まれ、シンガポールと香港では、市街地のデータセンターまでSJCが提供する。KDDIは地の利を生かして、千倉で「SJC」と「Unity」を接続し、アメリカと東南アジアを結ぶ予定だ。SJCのシンガポール側の端局からは、インド、中東方面への新たな光海底ケーブルが建設される計画がある。実現されれば、そこを通るデータの多くも千倉に集まってくることになるはずだ。国際通信ネットワークにおける千倉の存在感もますます高まっていくだろう。

0.001秒単位のクオリティ・ローレイテンシーの追求

国際通信ネットワークの競争は世界的に激しさを増している。その中で、KDDIが世界のプレイヤーをリードするポイントの一つが、ローレイテンシーの追求だ。ローレイテンシーとは、直訳すると「低遅延性」。具体的には、相手方から何らかの処理を要求してから実際に応答を得るまでの時間が短いことをいう。とりわけ重要視されるのは、金融取引などにおけるミリセカンド（0.001秒）単位での向上だ。

また、SJCとUnityは、新しい考え方も共有している。従来、海底ケーブルは、陸揚局までしか建設しないことが一般的だった。しか

東日本大震災を越えて 「情報の生命線」海底ケーブルを守る

2011年3月11日、巨大地震が東日本を襲った。三陸沖から茨城県沖に至る日本海溝沿いにプレートが動き、海底で地すべりが発生。KDDIが関係する日米間5系統の光海底ケーブルのうち、「Japan-US」など4系統が、20カ所以上で切断されてしまった。茨城県沖80kmの洋上でケーブルの埋設工事に従事していた「KDDI OCEAN LINK」(以下、KOL)は、いったん母港・横浜に帰港し、予備ケーブルを積み込んで、再度、茨城県沖に出動した。

「Japan-US」の被害は、最も深いところで水深6500mで障害が発生していた。海底の斜面にあったケーブルは、地すべりによって深い方に流され、ケーブルの位置が2kmも移動していたのだ。

海底ケーブルの切断が判明すると、日本近海の場合であれば、横浜港に常駐しているKOLが現場に急行する。乗組員・エンジニアたちは365日待機し、遅くとも24時間以内に出動できる体制を整えている。修理の窓口担当者や工事チームを率いるリーダーは、就寝時も連絡専用の携帯電話を離さない。彼らの真価が試されたのが、東日本大震災だった。

切断箇所は、事前におおよその位置は電氣的に分かって、ケーブルの状態がどうなっているかは船上に回収するまで分からないため、「探線機」と呼ばれるフック状の機械を垂らすのだが、例えば、富士山頂から麓めがけて、誰の誘導も受けずにひっかけるようなもの。まさに職人技といえる。船上でケーブルを再接続するのは、今でもほぼ手作業。揺れる船内で、髪の毛ほどの光ファイバーを慎重につなぎ合わせる。この接続は、所定の訓練を受けて資格者証を有する「ユニバーサルジョイント」と呼ばれる世界共通の資格を持つエンジニアが行っている。これも経験が品質を保証する職人技である。

地震発生後、24時間体制での修復作業は150日間にわたって続いた。KDDIには、同軸ケーブル時代からの50年近い実績があり、切断リスクを低減するための経験と技術、そしてインフラを守るという高い使命感が受け継がれている。



東日本大震災で切断された海底ケーブル



海底ケーブルの敷設や保守を行うケーブル・シップ「KDDI OCEAN LINK」(9510t、全長133.5m、全幅19.6m)

今や、プロの市場参加者たちは、市場分析、投資判断から発注までをすべてコンピュータで自動化したリアルゴリズム取引と呼ばれる手法を多用している。大きなニュースが世界を駆け巡る時、彼らにとつての1000分の1秒の差は、時として巨額の損益に結びつくことがある。2008年、KDDIが日本・ロシア間を接続する大容量光海底ケーブル「RJCN(Russia-Japan Cable Network)」を敷設した理由の一つも、東南アジア〜インド洋〜中東経由のルートや、米国経由より

も速い、欧州への最短距離を求めるローレイテンシーの追求だ。

光海底ケーブルは共同建設、コンソーシアムの組織力

現在の光海底ケーブルの建設においては、数百億円〜1000億円以上にもなる費用を分担する、コンソーシアム(共同体)方式が主流となっている。コンソーシアムの規模はさまざまである。先述のRJCNのように、KDDIとロシア最大の通信会社ロステレコム(2社で建設

したケースもあれば、実に90社以上も参加した例もあるという。コンソーシアムの構成は難しい。まずは参加メンバーをいかに集めるか。巨額の投資になるが、資金さえあれば誰でも歓迎されるわけではない。建設や保守を一定の品質で担保できるかも重要なポイントになる。そして、参加者間では利害の対立も起る。再び伝送技術が急速に発展しつつある今、通信需要が旺盛で今にも逼迫しそうな事業者と、将来の需要を見越して余裕を持たせたい事業者では、建設時期を早めるか遅

らせるかで衝突してしまうこともある。締結交渉では、まさに外交交渉さながらの駆け引きが展開される。SJCのコンソーシアムも、交渉には2年を要した。

KDDIは豊富な交渉経験をもとに各国の通信事業者と太いパイプを結び、時には発起人として、時には主要なメンバーとして新規建設や更新に積極的に参加している。

光海底ケーブルはテクノロジーの集積

SJCの総容量は、当初の予定では16Tbps。電話回線(64kbps相当)に換算すると、約2億回線に相当する。50年前の海底同軸ケーブルTPC-1が同138回線だったことを考えれば隔世の感があるが、もはや比較することの意味は薄いだらう。今や海底を行き交う情報は、ほとんどすべてデータ通信である。

光海底ケーブルにはさまざまな要素が絡み合う。通信技術だけではなく、電気、材料、そして土木や船舶などの複雑なテクノロジーの集積によって成り立っているのだ。

グローバルな通信需要の増加とともに、競争も熾烈化している。その中で、いかにビジネスとしての整合性を保ちながら、通信ネットワークの社会的責任を全うできるか。海底ケーブルに寄せられる期待は大きい。