

第6章

結 論

本章では、著者が関西電力株式会社総合技術研究所、ならびに大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻において行った、長距離大容量光ファイバ伝送系の最適設計手法に関する研究において得られた成果を総括して述べる。

第1章では、本研究の背景、すなわち長距離大容量光通信研究の現状および本研究の概要について述べ、その意義を明らかにした。近年の光通信技術の発展は著しく、ファイバの分散性や非線形性の影響を精密に評価してシステムを設計する要請が高まっている。著者は周期的分散補償線路モデルにQマップ法等の手法を適用して、数値シミュレーションによりシステムの最適化を図る方法を確立した。また室内およびフィールドでの伝送実験によりその結果を確認した。これらの成果により大容量光通信システムの最適設計が実現された。

第2章では、光ファイバ中の光波伝搬を記述する非線形シュレディンガー方程式の数値シミュレーション手法について述べた。数値シミュレーションに用いるスプリットステップフーリエ法の概要、および Mathematica 言語でのコーディング手法について述べた。また線形伝送と比較した光ソリトン伝送の特徴について考察した。特に光ソリトン伝送における最適信号強度が、ファイバ減衰定数やカー定数等の物質定数のみで決定され、伝送速度や増幅器間隔に基本的に依存しないことを指摘した。またソリトンの安定性を評価するパラメータとして R 値を導入し、これを用いて光ソリトン伝送の特徴を確認した。次に信号の伝送品質の評価手法として Q 値の定義について述べ、伝送パラメータ平面上で Q 値を評価する Q マップ法について説明した。

第3章では、 Q マップ法による分散補償光ソリトン線路の最適設計手法について述べた。周期的分散補償線路モデルを使って、分散補償量、平均分散、信号強度の最適値とその許容量について検討し、10 Gbit/s から 80 Gbit/s の線路における最適パラメータを評価するとともに、それらの伝送速度に対するスケールリング則を導出した。次に、40 Gbit/s、640 km 光ソリトン伝送実験を行い、計算機シミュレーション結果とよく一致すること、また対称

型分散補償を採用することで大幅に伝送特性が改善されることを確認した。この結果をもとに 40 Gbit/s 伝送技術と偏波多重技術を併用して、通常の分散シフトファイバを用いて 80 Gbit/s, 800 km の伝送実験を行いエラーフリー伝送を確認した。これらの結果から Q マップ法による分散補償光ソリトン線路設計の有効性を実証した。

第 4 章では、Q マップ法による波長多重光線路の最適設計手法について述べた。Q マップ法は非線形シュレディンガー方程式の数値計算を基礎としており、波長多重線路解析にも適用できる。伝送特性の波長間隔依存性、チャンネル数依存性、信号強度依存性等を評価し、分散スロープ許容量等、テラビット級線路の設計条件等について検討した。これらの計算結果は報告される実験結果と一致している。特に (1) C R Z 伝送ではファイバ非線形の制約のためソリトン伝送とくらべて信号強度が約 1/10 となり、増幅器雑音に対する設計条件が厳しくなる、(2) 40 Gbit/s/ch によるテラビット級線路では、 $\pm 0.003 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 程度の極めて精密な分散スロープ補償が必要となる、等の性質から、適用箇所やネットワークアーキテクチャーに応じて光ソリトンとの棲み分けがなされるものと予想される。

電力会社固有の光ファイバ設備である光ファイバ複合架空地線 (O P G W) を用いた信号伝送フィールド実験を実施し、既存の D S F を用いて R Z 信号で 10 Gbit/s、784 km の伝送に成功した。またその時の最適分散値が、シミュレーション結果と一致することを確認した。また R Z 信号による 40 Gbit/s (10 Gbit/s、4 WDM) で 392 km (中継間隔 98.2 km) の伝送に成功した。この場合、各チャンネルともほぼ同等の伝送特性を示した。これは波長多重伝送では、チャンネル間の非線形相互作用の影響が支配的であったためと考えられる。また、N R Z 信号を用いた波長多重伝送では、80 Gbit/s (10 Gbit/s、8-ch)、588 km (中継間隔 98.2 km) 伝送において、各チャンネルとも 10^{-9} 以下の誤り率を観測した。今回のように増幅器間隔が長い条件ではスペクトル幅の狭い N R Z の方が分散マージンや増幅器雑音の点で有利であったと考えられる。

光ソリトンの信号強度の決定要因であるカー定数 ($n_2 = 2.24 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$) が光通信で使われている領域に存在したことは偶然と言える。もし値が一桁小さければ、線形伝送で全てが解決され、波長多重によるテラビット伝送も容易であった反面、光ソリトンを利用した単一波長 40 Gbit/s、10000 km 伝送⁽⁶⁴⁾は不可能となる。もし一桁大きければ、非線形性を克服するためソリトンはもっと一般的になっていたと思われるが、1 Tbit/s、10000 km 伝送⁽¹⁾は不可能だったと予想される。最近では 40 Gbit/s 伝送研究の活発化により、非線形

性の克服が課題となり、光ソリトンの有効性が見直される傾向にある。

第5章では、インターネットを利用したシミュレーション研究システムについて考察した。本研究で使用したシミュレーションシステムについて述べ、インターネットを介したシミュレーション相互検証システムにより、シミュレーション結果の追試験が可能となり、信頼性が改善される可能性について指摘した。またインターネット上で研究を効率的に進めるためのグループウェアの設計試作を行った。パーソナルコンピュータ性能の飛躍的向上、シミュレーション技術の進歩、インターネットの発展、Peer to Peer 技術の進展等により、計算機シミュレーションの科学的研究手段としての新たな可能性が拓けてきたと考えられる。特に Peer to Peer 技術は、シミュレーション結果の相互検証、および分散的コンピューティングの点から重要である。

近年、長距離大容量光通信技術は急速に進歩したが、それがネットワークのバックボーンに適用されてポテンシャルを最大限に発揮するには、フォトニックネットワークの研究が重要となる⁽⁷⁵⁾。特にアクセス系のブロードバンド化が急速に進んでおり、バックボーン側の対応が不可避となっている(図6.1)。現在、研究の主流は波長をラベルに用いる Generalized Multi-Protocol Label Switch (GMPLS) 方式であるが、デバイスの動向やコスト、信頼性等から Ethernet など TDM方式によるネットワークアーキテクチャが生き残る可能性も考えられる。

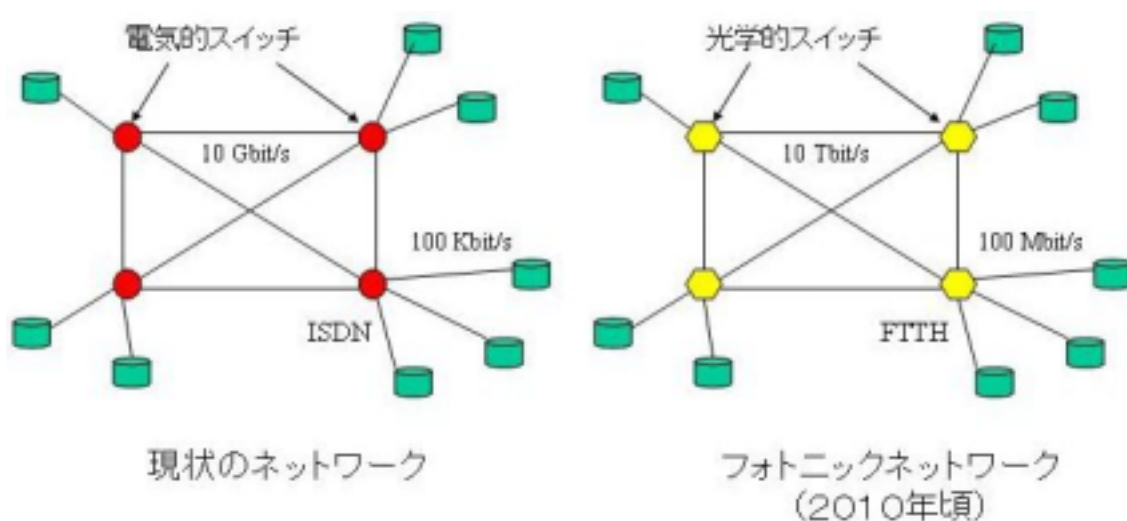


図 6.1 フォトニックネットワークの重要性