

# フォトリックインターネット への展望



大阪大学サイバーメディアセンター  
先端ネットワーク環境研究部門  
村田正幸

*e-mail: murata@cmc.osaka-u.ac.jp*

*http://www.anarg.jp/*





# 内容

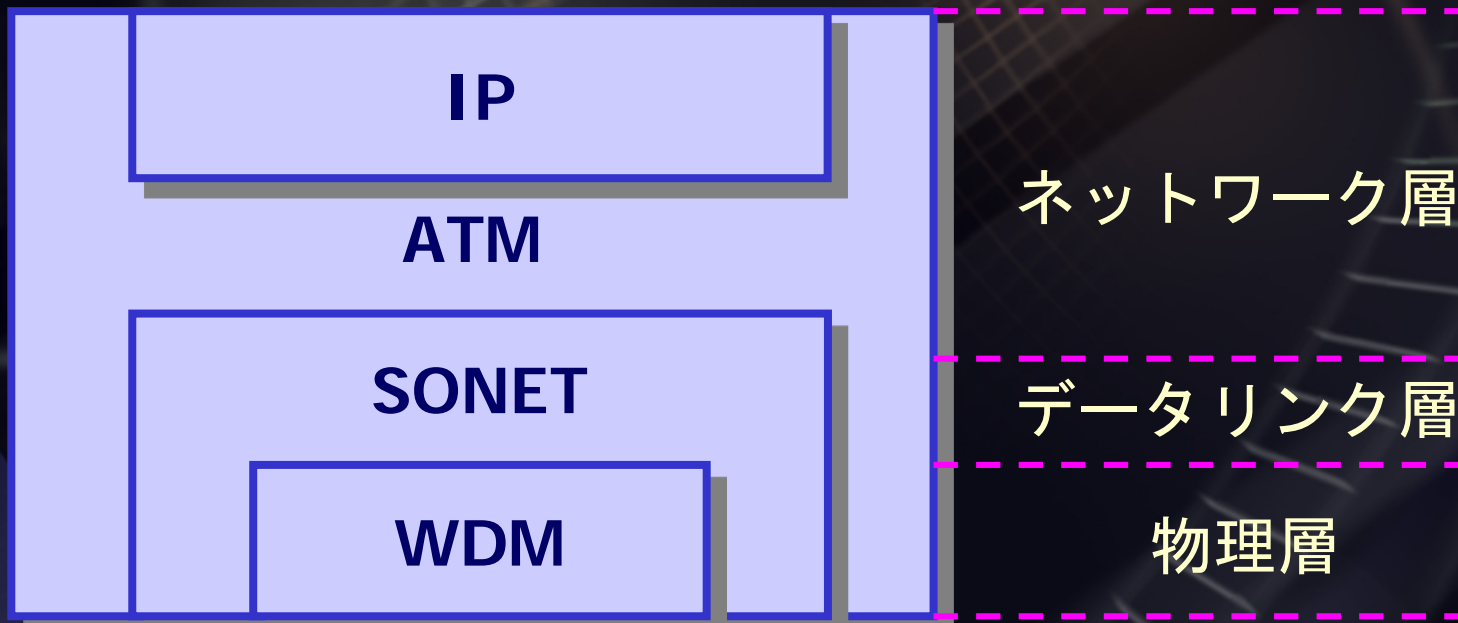
- ❑ IP over WDMの必要性
- ❑ IP over WDMにおける課題
- ❑ フォトニックインターネットへのロードマップ
- ❑ 波長の開放による新しいフォトニックネットワークアーキテクチャの可能性





# フォトリックインターネットに 対するいくつかのビュー

- ❑ IP over ATM over SONET over WDM
- ❑ IP over SONET over WDM
- ❑ IP over (PPP or HDLC over) WDM







# マルチレイヤプロトコルスタック の問題点

## 機能の重複

- 屋上屋を重ねる危険性
- 複数レイヤにまたがった機能の最適化は容易ではない
- ただし、機能分担の可能性はある
  - 経路制御、信頼性制御

## 非効率性

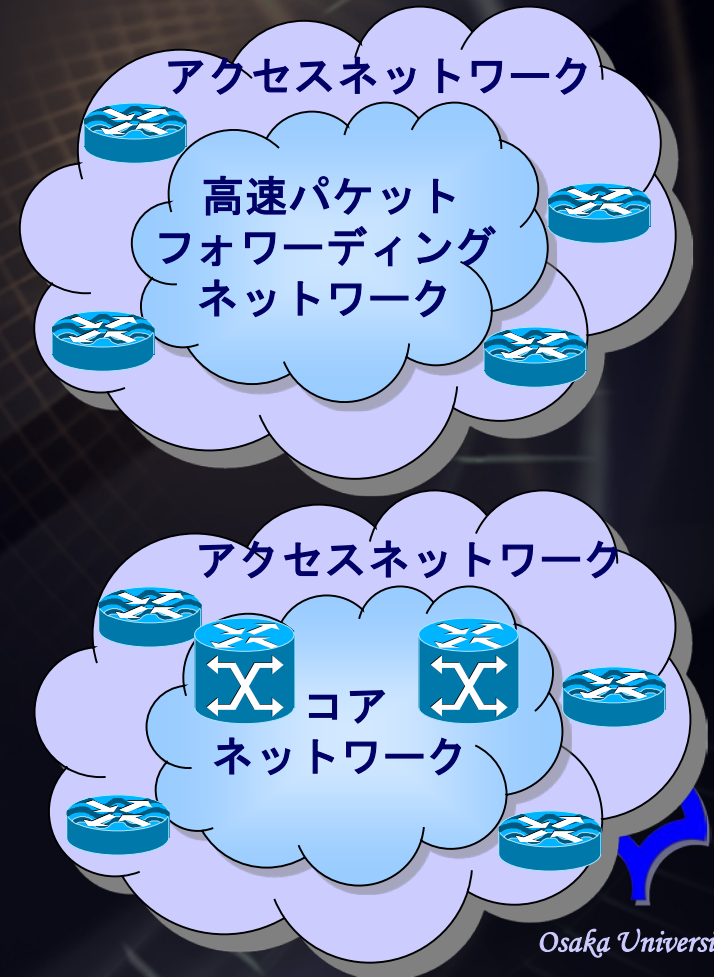
- IP over ATM over SONET over WDM network  
40バイトIPパケット / 2セル (106バイト)





# 制御プレーンの切り離し: GMPLS

- GMPLS: Generalized MultiProtocol Label Switching
- パケット交換 over 回線交換
  - パケットフォワーディングとスイッチングの切り離し
  - エッジノード間の回線（パス）の提供
- Cf. MPLS
  - Traffic Engineering, QoS Routing
- Cf. レガシーモデル
  - ルーティングテーブル参照（Longest prefix matching）の高速化
  - ルータ処理の並列化・パイプライン化





# フォトリックインターネット アーキテクチャ



## 4つのアーキテクチャ

1. WDM Link Network
  - 隣接ルータ間リンクをWDMで接続
2. WDM Lightpath Network
  - エッジノード間を波長で接続
3. Optical Burst Switching Network
  - バースト単位でエッジノード間を波長で接続しながら転送
4. Optical Packet Switching Network
  - パケット単位でスイッチング







# フォトリックインターネット アーキテクチャ(1)

## WDM link network

- 隣接ルータ間を複数波長で接続
- 複数リンクの提供：波長数分の帯域
- × 電気ルータへのボトルネック移行

Router



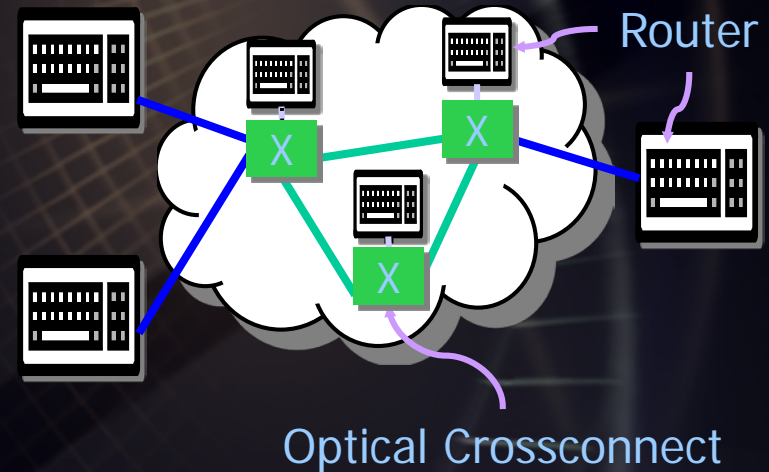


# フォトリックインターネット アーキテクチャ(2)

## WDM lightpath network

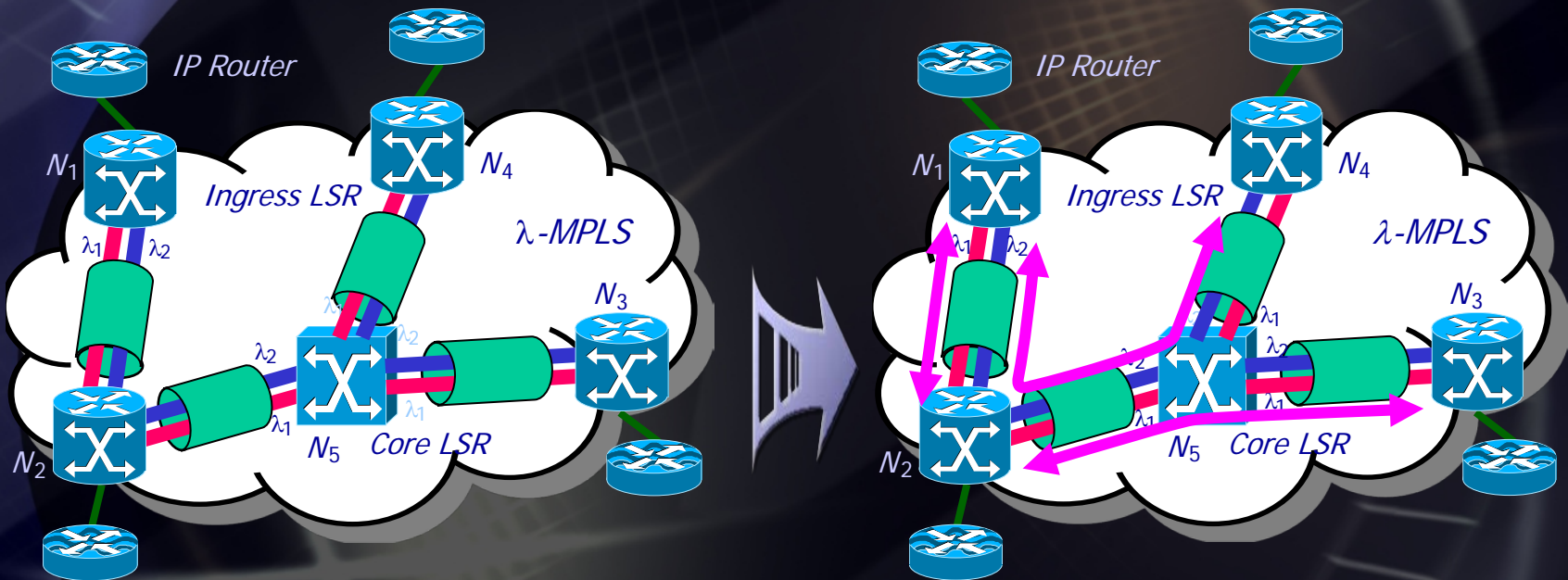
### ■ 波長パスに基いた論理 トポロジー形成

- IPルータはファイバを接続するのではなく、lightpathを接続することによって、ルータボトルネックを解消
  - オプション：ネットワーク内部のルーティング機能
  - RWA (Routing and Wavelength Assignment) 問題
- × Ingress LSRにおけるボトルネック
    - ただし、WDM Ringなどによる処理分散は可能
  - × Labelの粒度：波長
    - Label Merging/Splitting、4層スイッチングが困難





# WDM技術を用いた 論理トポロジーの生成



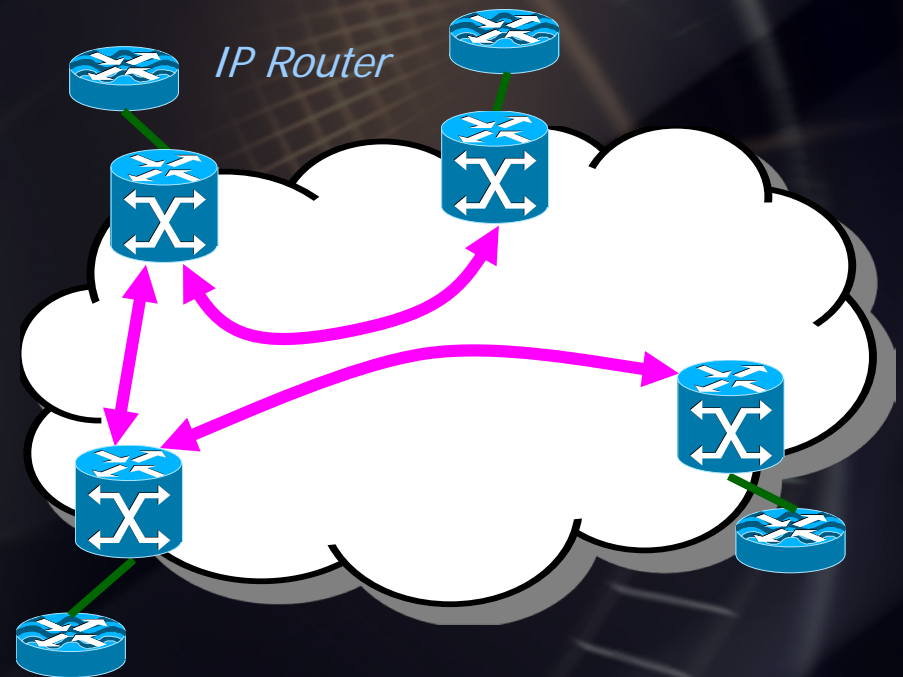
## 最適化問題

- 例：トラフィックデマンドに基づいて、各波長上のトラフィックを最大化するのに必要な最小波長数を求める
- ただし、トラフィック量は既知



# IPに提供される論理ネットワーク

- ❑ 度数の増加による冗長性の高いネットワークの提供
- ❑ エンドノード間のホップ数の減少
- ❑ ルータにおけるパケット処理量の減少
- ❑ ルータボトルネックの解消





# Lightpath Networkの実現に向けた 課題

## 機能分割の実現方法

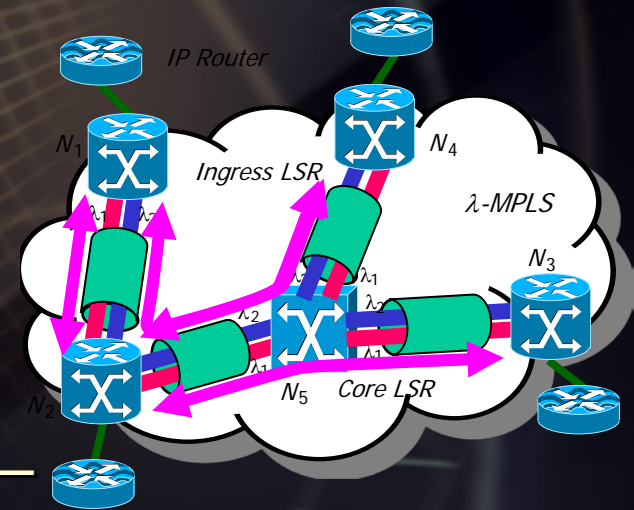
- IPルーティングとWDM波長ルーティングのマッチング
- Quality of Protectionの実現

## 論理パストポロジー設計問題

- 既存のTraffic Engineering手法の問題点を継承
  - トラフィック量を既知としたトポロジー最適化問題
- 段階的波長パス設定の必要性

## GMPLSに基づくパス設定

- 集中型 vs. 分散型
- オンデマンドかどうかによって決まる

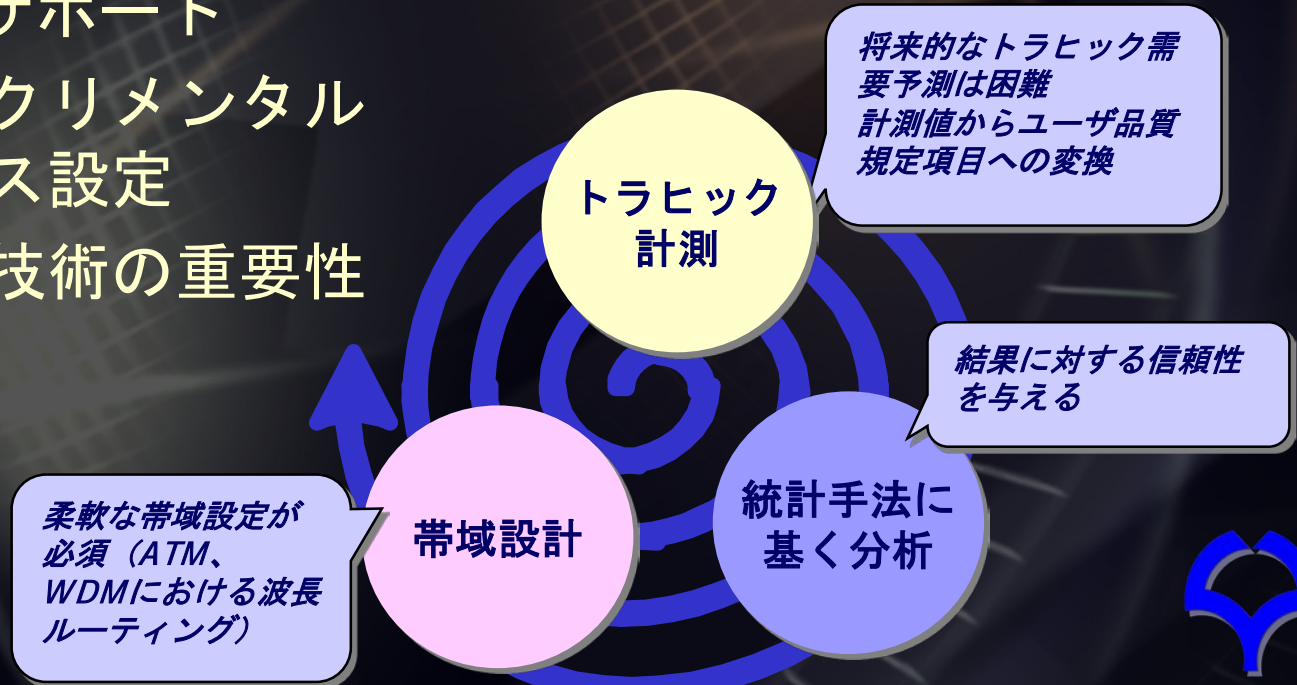




# データ系に適したQoS制御： スパイラルアプローチ

## ❑ QoS保証の実現に意味はない

- 少なくともプロビジョニングレベルにおけるQoSサポート
- インクリメンタルなパス設定
- 計測技術の重要性





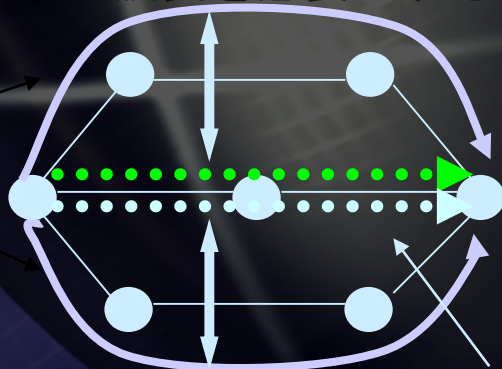
# IP&WDM Integration

## ☐ WDM技術による高信頼化 : IP & WDM Integration (or, Functional Partitioning)

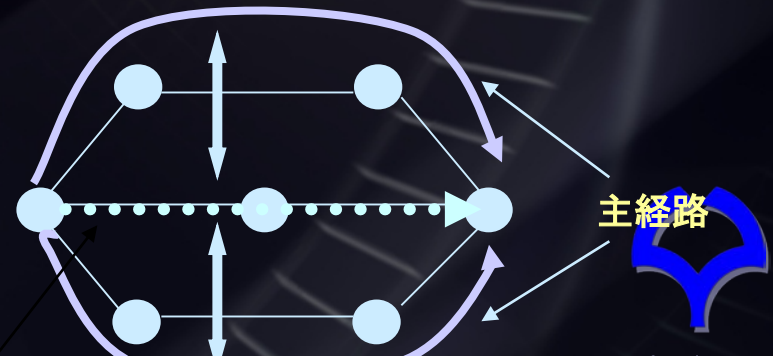
- 障害回復時間のギャップを埋める
  - IP : 秒オーダー、WDM : 数十ms
- トポロジー設計問題

## ☐ WDMプロテクション

- 1対1プロテクション、多対1プロテクション
- 1対1プロテクションは複数の障害に対応可能だが、より多くの波長を必要とする



1対1プロテクション



多対1プロテクション



# フォトリックインターネット アーキテクチャ(3)

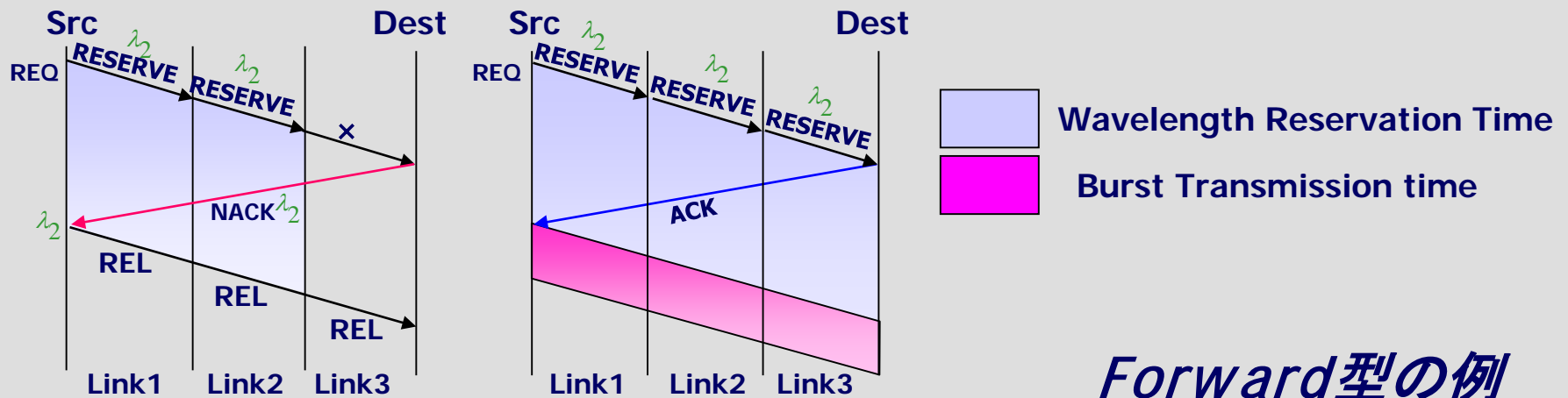
## ❏ OBS (Optical Burst Switching)

- バースト到着時に波長を定める
  - オプション：経路も同時に定める
- Two-way vs. One-way

○ バーストのバッファリング不要（パケットスイッチングとの本質的な違い）

## ❏ Two-way (Forward、Backward型波長予約プロトコル)

- 波長予約を確定してからバースト送付
- × 伝播遅延時間がボトルネックになる

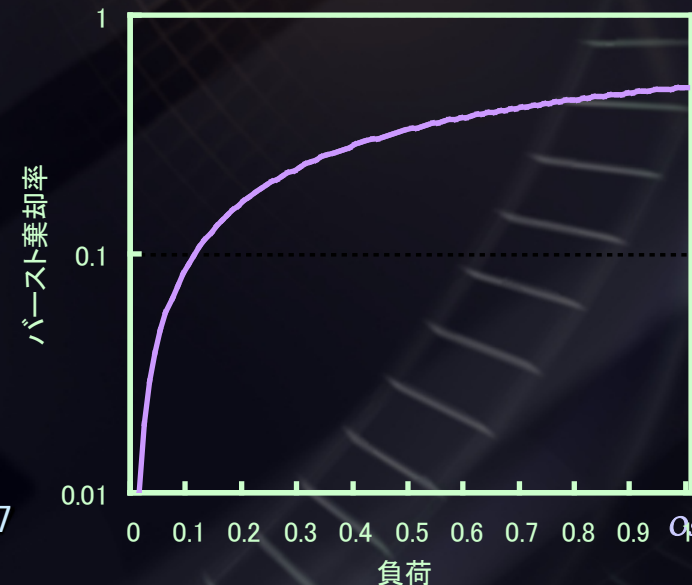
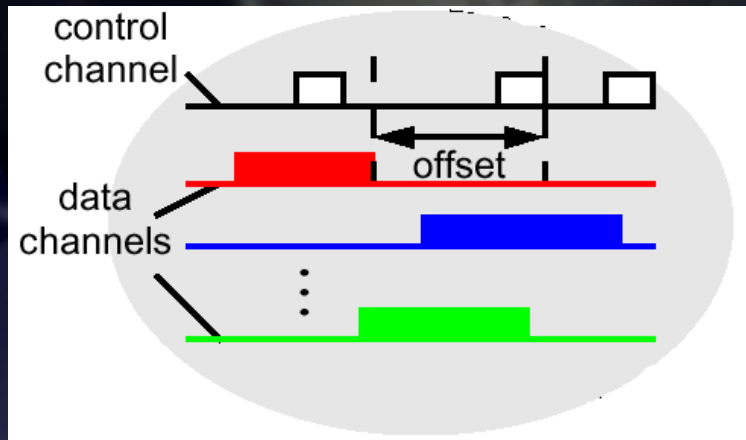




# フットニックインターネット アーキテクチャ(3) (続き)

## One-way (JETなど)

- ヘッダの電気処理のために、ヘッダとデータの間を空ける
- パス設定（波長予約）処理の高速化がキー
- × バーストは落ちるかも知れない
- 波長変換がない場合、M/G/1/1待ち行列網モデル！





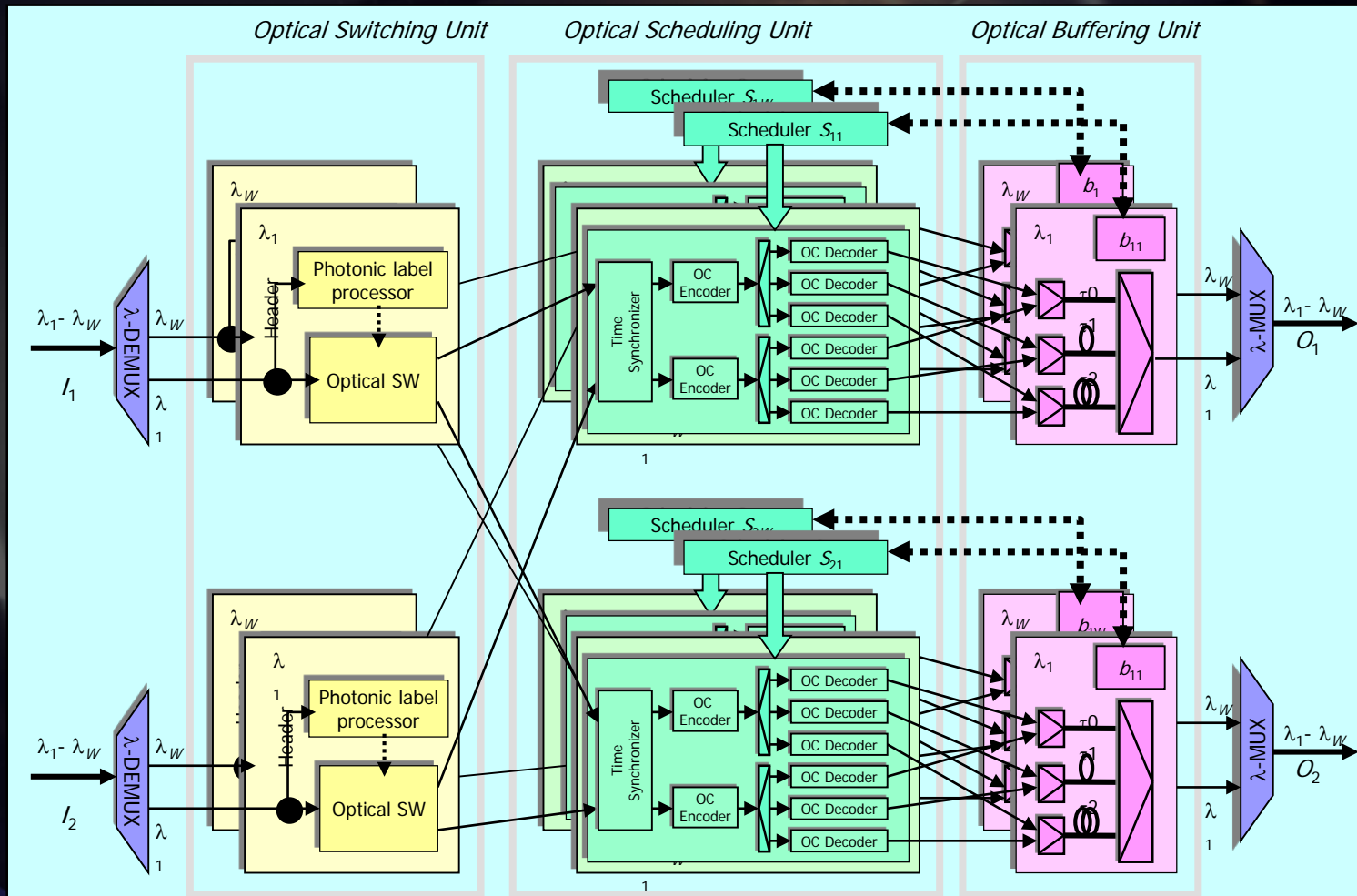
# フォトニックインターネット アーキテクチャ(4)

## 光パケットスイッチング

- IPパケットの直接的なサポート
  - 非同期到着→同期
  - 可変長パケット→スロット化
  - FDLによるパケットバッファリング
- ルーティング機能：GMPLSに依存
- スwitching制御：（現状では）電気処理
- 多重化効果は大きい
  - 本質的にATMと同じ、ただし、余計なことは考えない



# 光パケットスイッチの例

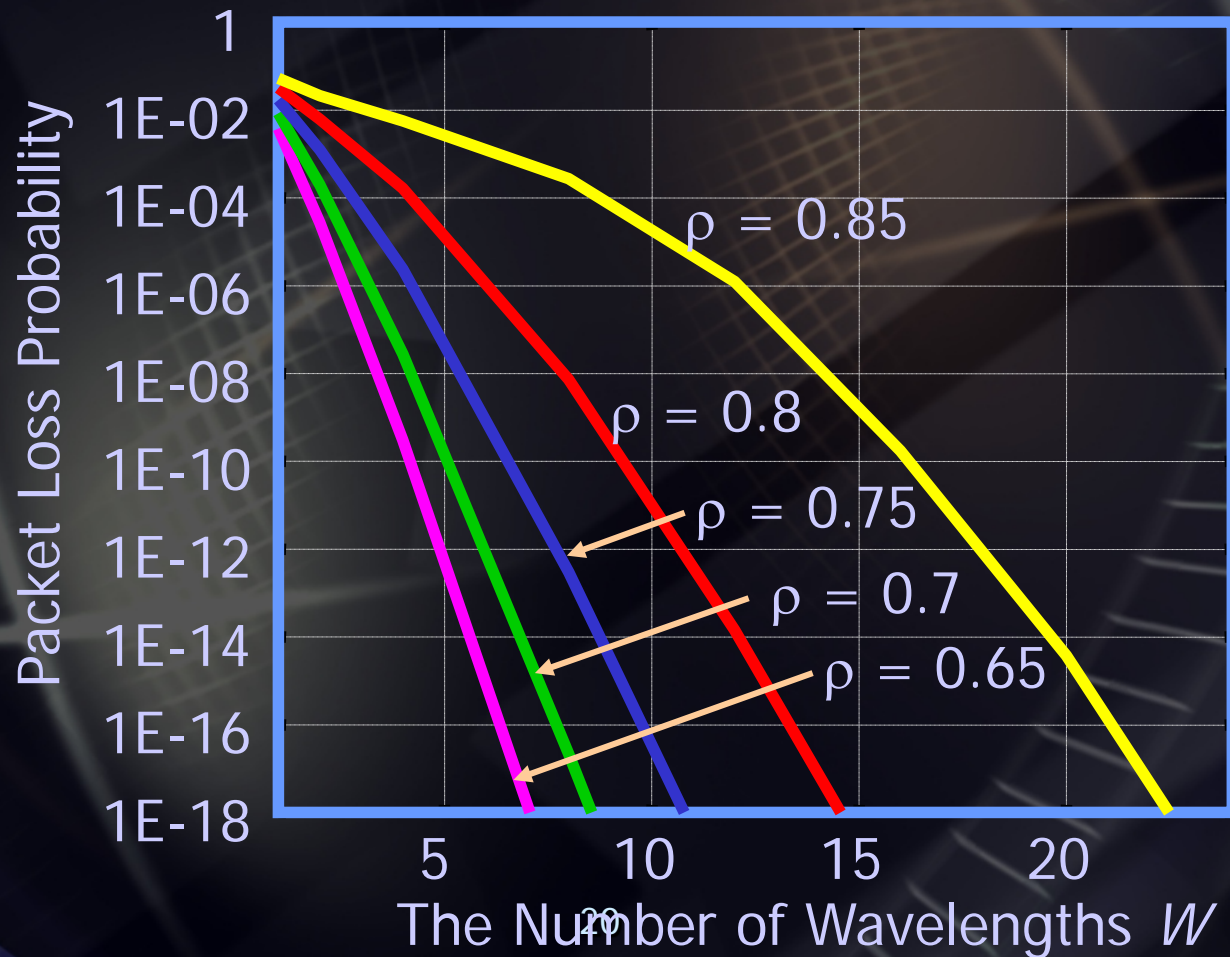


Masayuki Murata and Ken-ichi Kitayama, "Ultrafast photonic label switch for asynchronous packets of variable length," *IEEE INFOCOM 2002*, June 2002.





# 提案光パケットスイッチの性能



# パケット交換 vs. 回線交換

機能	回線交換（光クロスコネクトノード）	パケット交換（電気ルータ）
回線効率	決して悪くない（回線それぞれの利用効率ではなく、回線数の利用効率） →波長数の増大が重要	一般に良いとされているが、遅延を小さくするためにはoverprovisioningが必要
エンド間パス可用性	コストをかけることにより維持	経路制御により維持
ノード可用性	機能が低い分高い	低い
ノードコスト	機能が低い分安い（半分から1/10）	高速化すればするほど多機能実現のためにコスト高
サービス機能の多様性	低い	高い

## ☐ パケット・回線交換の融合？

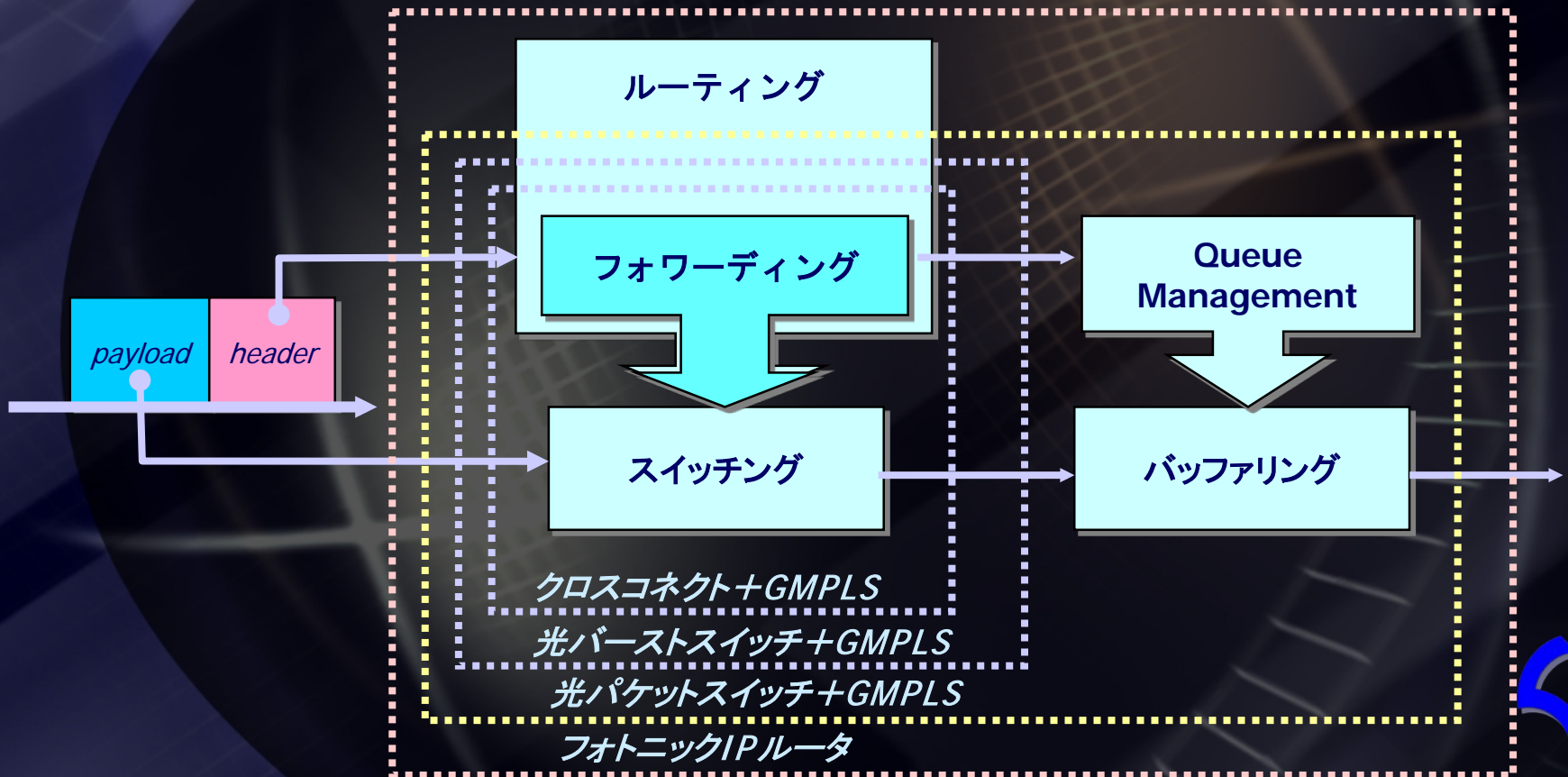
- アクセス系：パケット交換
- バックボーン：WDM回線交換(+GMPLS)：光パスネットワーク
- スケーラビリティ確保のために、波長あたりの容量を増やすより、波長数を増やすことが重要

## ☐ その後は、光パケットスイッチ+GMPLS？



# フォトリックインターネットへの ロードマップ

## Cross-Connect, Switch or Router?







# ユーザに対する波長の開放

- ❑ IPを乗せることがWDMネットワークの役割か？
- ❑ TCPは本質的に
  - パケットロスが発生する
  - 帯域をfair-shareする役割を担う
- ❑ ユーザへの波長の開放（エッジノード間ではない）：オンデマンド波長パス設定
  - 前提：波長が豊富にある（1,000波長～）
  - 適用
    - ユーザ志向VPN
    - データグリッド（Tbyte級データ転送）
    - SANの広域ネットワークへの展開
  - Proprietaryなプロトコル展開も可能
  - PhotonicGrid
- ❑ 参考：インターネットが目の前にあったからこそ、それに適したWebというアプリケーションが生まれた
  - 背景：画像圧縮技術、GUI、画像表示能力
  - にわとりと卵（？）
  - napster, gnutella

