

パネルディスカッション「ネットワークの今後の展開」

ネットワーク制御技術のさらなる展開を目指す  
新たなネットワークテストベッド構築に向けて  
-ネットワーク制御技術研究者の立場から-

山岡 克式

 東京工業大学 大学院理工学研究科

# ネットワーク利活用研究開発

## ⌘ 研究開発テストベッドネットワーク

- ⊡ 運用ネットワークとは異なる実験ネットワーク

## ⌘ JGN を利活用した研究開発

- ⊡ 次世代高度ネットワーク社会の実現を目指した様々な研究開発の推進
- ⊡ 様々な新規技術の創出
  - ⊗ 高度アプリケーション技術
  - ⊗ 超高速ネットワーク技術



# テストベッドと研究開発

## ⌘ テストベッドを有効に利活用した研究課題

### ☑ テストベッドが研究開発インフラとして機能

#### ☑ 高度アプリケーション技術

- Endノードでアプリケーションを実現

#### ☑ 超高速ネットワーク技術

- End端末間通信プロトコルの研究開発

### ☑ テストベッドを利用した様々な成果



# ネットワーク制御技術研究者の立場から

## ⌘ 有効に利活用しにくい研究課題

- ☒ テストベッドそのものに影響する研究開発
  - ☒ 新世代ネットワークアーキテクチャの研究開発
  - ☒ バックボーンノード制御技術, プロトコルの研究開発

## ⌘ 現状のテストベッドでは研究開発での利用困難

- ☒ 根本的に基本技術が異なるため
- ☒ ネットワークの内部(Underlay)に手を入れることができないため



# テストベッドの利活用が困難な研究例

- ⌘ ARQプロトコルの優先制御によるデータ転送スループットの向上
- ⌘ 適応型プロトコル中継によるデータ転送方式

この程度のことさえ  
これまでのテストベッドでは  
実験できない



# ARQプロトコルの優先制御による データ転送スループットの向上

---



# ARQの問題点

⌘ ARQ: End-End間で誤り検出、再送

☒ 誤り率や遅延の増大がスループットに悪影響

⌘ 遠距離通信

☒ 伝送遅延が相対的に大きい

☒ タイムアウトが発生しやすくなる

☒ 再送時にも長距離に渡って網資源を占有

☒ ウィンドーが開ききるまで送信 (Go-back-N)

☒ 再送発生時以後の packets が全て無駄に

他の通信に悪影響



# スループットに着目した ARQの優先制御

## ⌘ 遠距離からの通信を優先制御

- ☑ 近距離通信は一般に遅延が**増加**
- ☑ 遠距離からの通信の遅延が**減少**
  - ☒ タイムアウトが減少

しかし

再送が減少した結果帯域に余裕ができる

- ☑ その分近距離通信の遅延も**減少**

優先度を上げた側と下げた側**両者ともに**  
スループットの向上する場合が存在

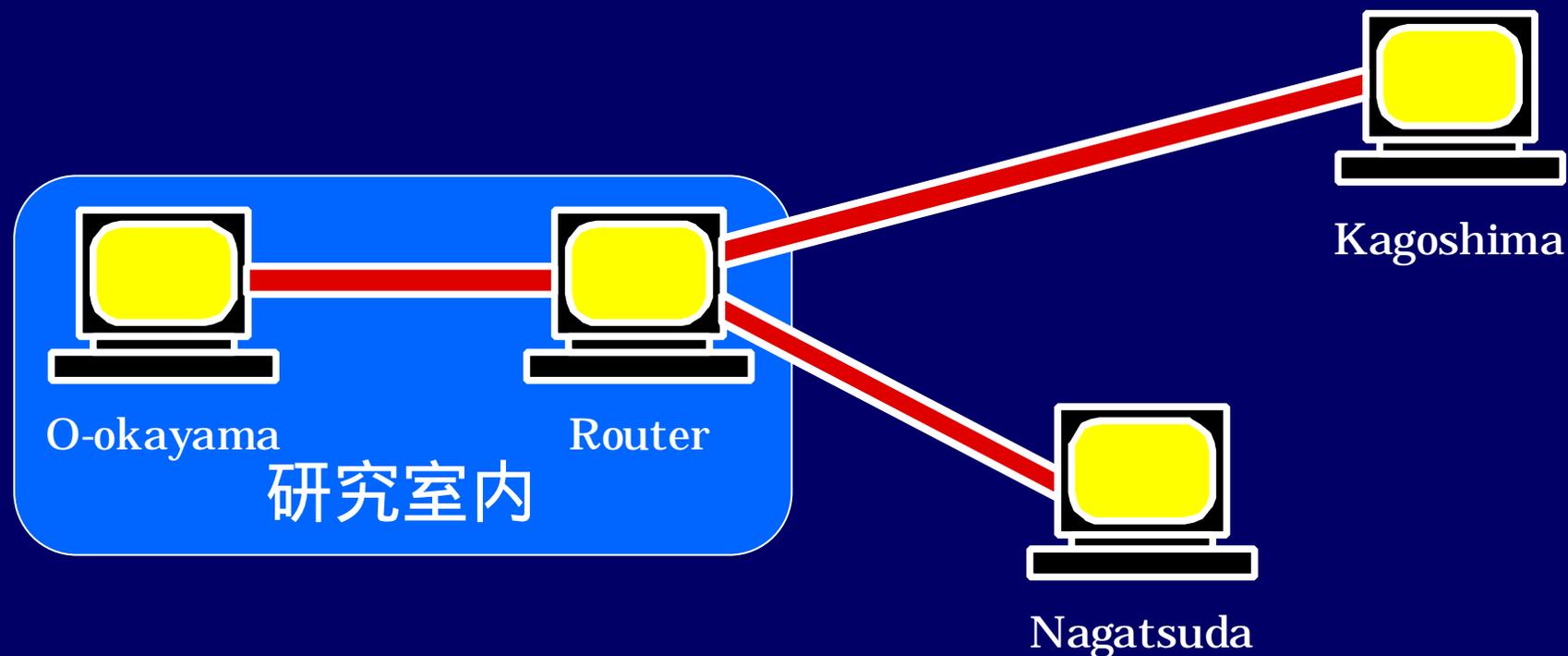
“Priority Control is Not The Property of the Privileged Classes”,  
Katsunori Yamaoka, Kunihiro Katoh, Yoshinori Sakai, Networks2000, S34.5(by CDRom) (2000)



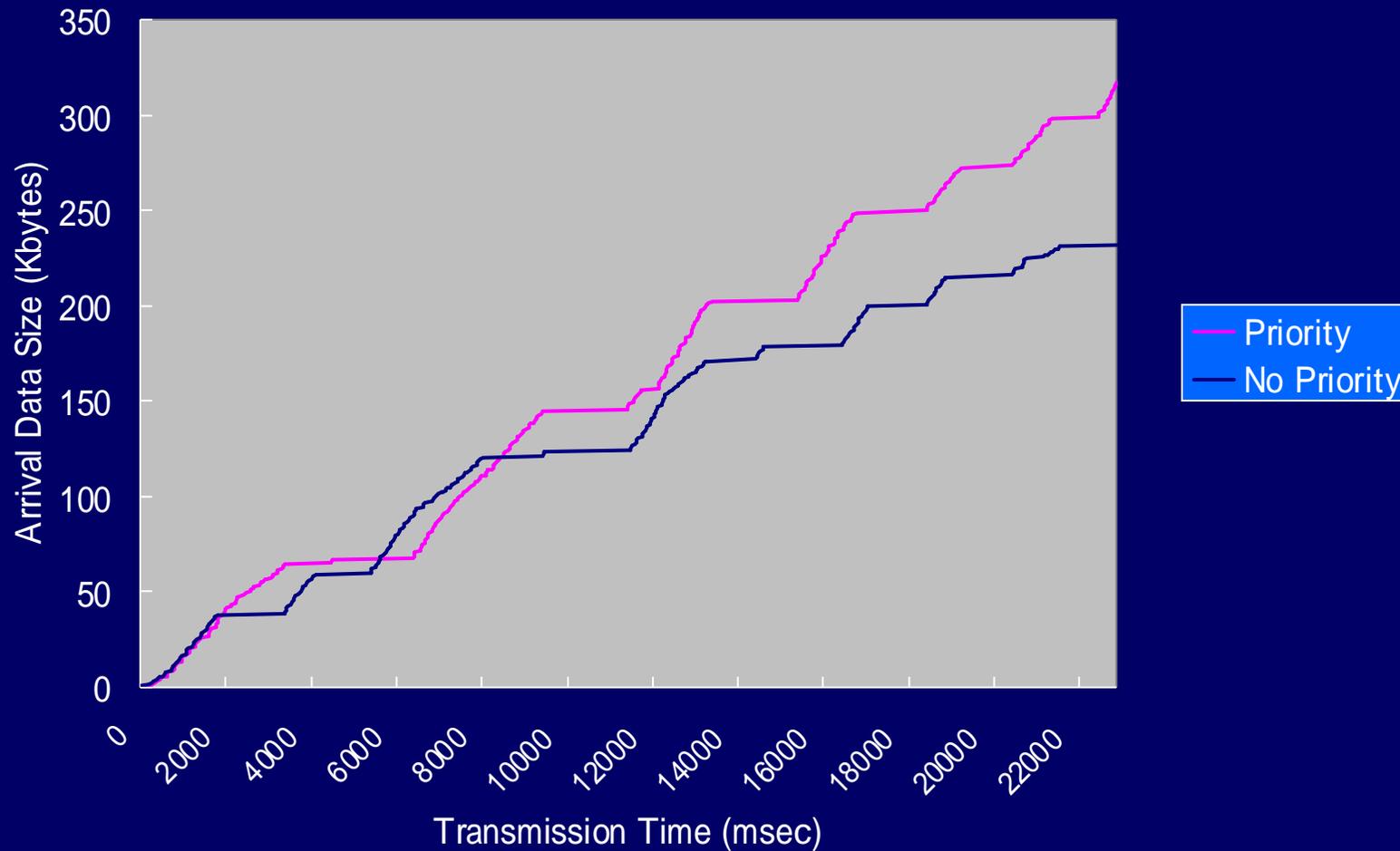
# 予備実験

⌘ インターネット

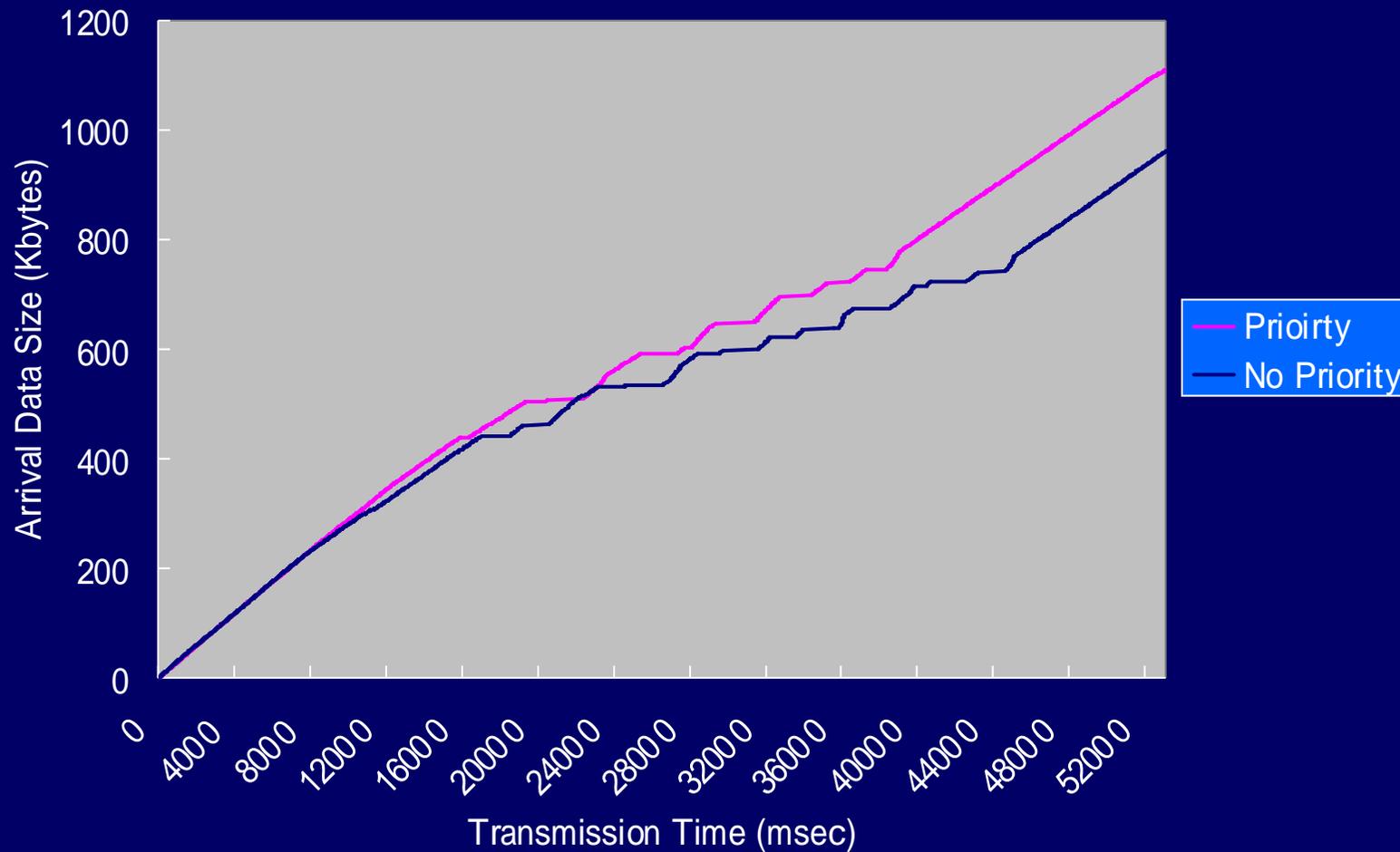
☑ ルータ (IBM-PC、FreeBSD) のIP層で優先制御



# 実験結果 (TCP、遠距離)



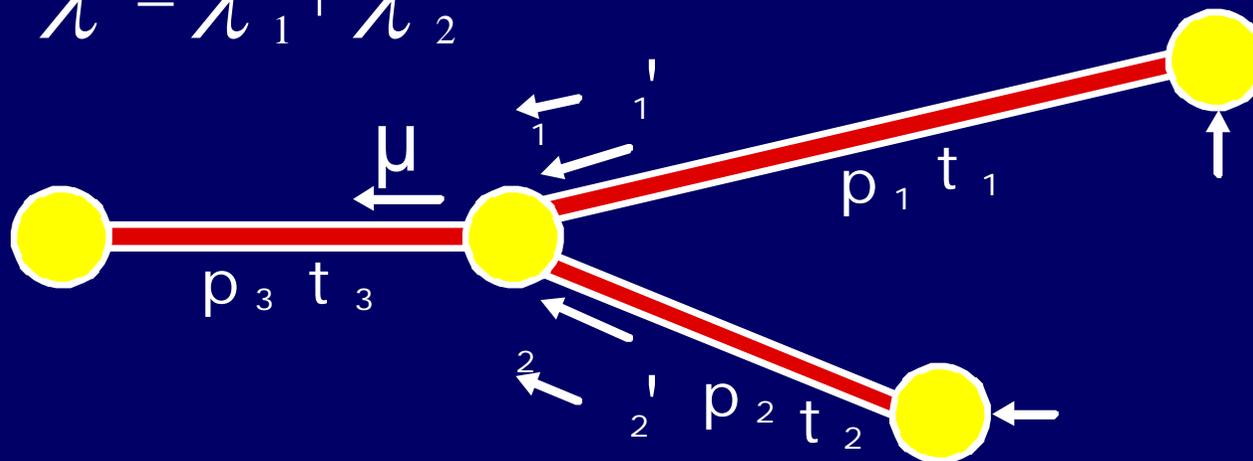
# 実験結果 (TCP、近距離)



# スループット向上の条件

⌘ 近距離側もスループットが向上する条件

$$\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{(\mu - \lambda_1)(\mu - \lambda_1 - \lambda_2)} < \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$
$$\lambda = \lambda'_1 + \lambda'_2$$



# 適応型プロトコル中継による データ転送方式

---

# 背景

⌘ 通信網の規模が急速に拡大

☒ 接続の多段化

☒ 遅延の増大



⌘ End-End間でARQを用いるプロトコル

☒ 遅延、伝送誤りの増加に弱い

☒ データ転送スループット悪化の原因に



# 従来の研究と問題点

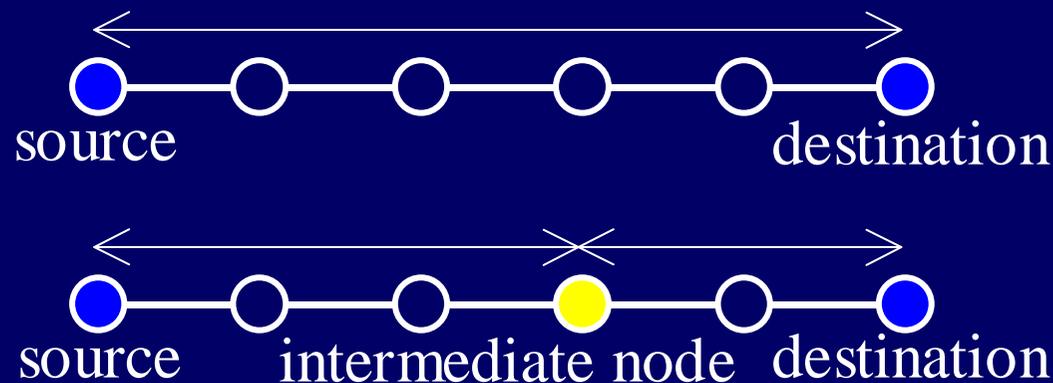
- ⌘ 中継ノード上でデータバッファリング
- ⌘ あらかじめ定められた特定区間のみ中継
  - ⊡ 遅延区間を独自プロトコルで中継
  - ⊡ 衛星インターネットを対象としたTCPゲートウェイ
- ⌘ Proxyサーバの実装アプリケーション
  - ⊡ 設置ノード上であらかじめ設定を行った特定のアプリケーションのみ中継
  - ⊡ DeleGate
  - ⊡ Squid



# 適応型プロトコル中継

## ⌘ 動的にコネクション中継ノードを設定

- ☑ End - End間でARQを用いたプロトコル
- ☑ 伝送遅延、誤り率に応じてコネクションを中継
- ☑ ユーザーの関与なしにネットワークが自動的に中継



“適応型プロトコル中継によるブロックデータ転送効率の向上”, 山岡克式, 大槻英樹, 酒井善則,  
電子情報通信学会論文誌B, Vol.J84-B, No.9, pp.1712-1715 (2001)



# 理論解析

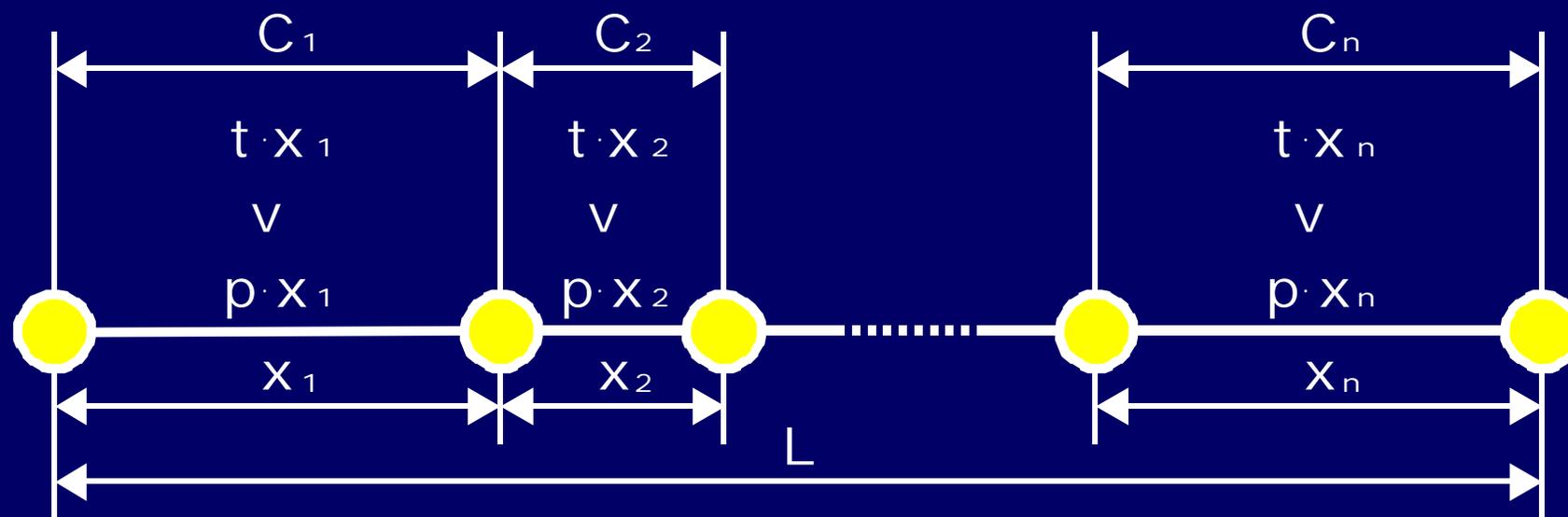
## ⌘ Go-back-N ARQ

ノード間で ARQ により生じる伝送遅延の期待値  $T_{ij}$

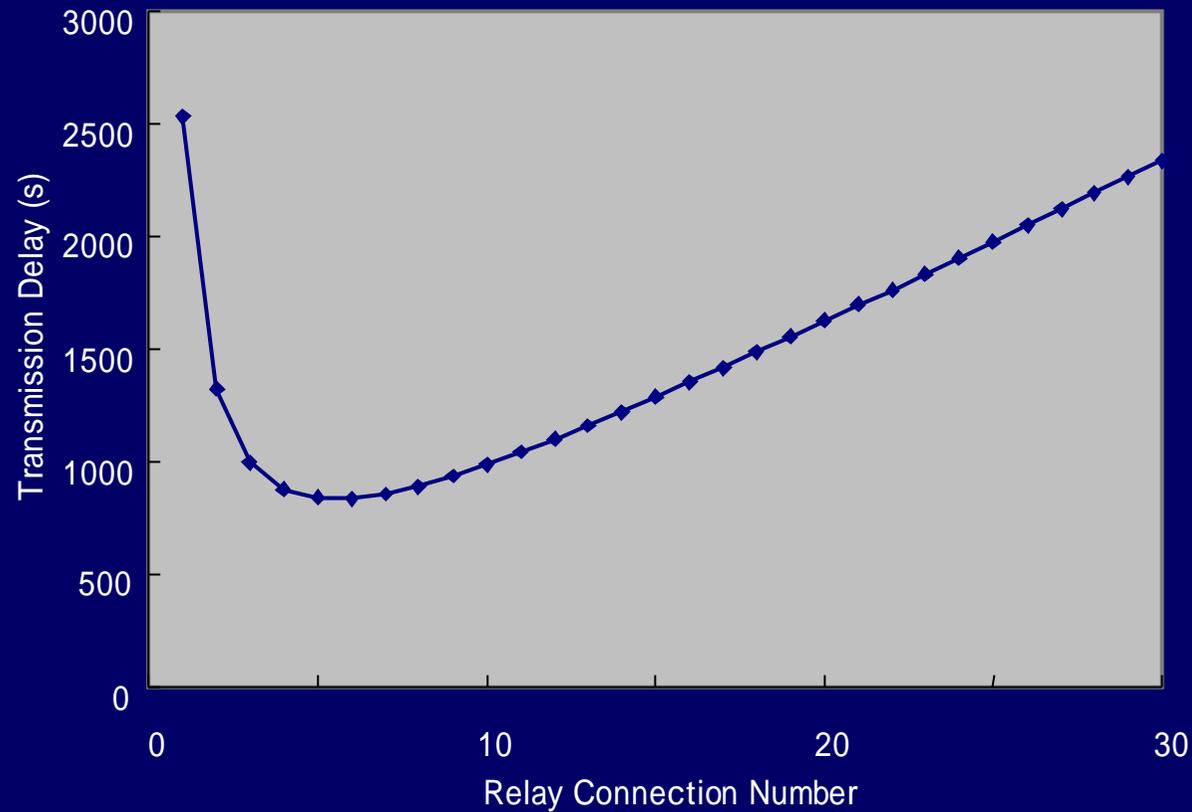
$$T_{ij} = \frac{M}{v_{i+1}} \frac{1 + p_{ij} \frac{v_{i+1}(t_{ij}^0 + t_{ij})}{N}}{1 - p_{ij}}$$
$$t_{ij}^0 = t_{ij} + N \prod_{x=i+1}^j \frac{1}{v_x}$$



# 通信品質均一網



# 中継数と転送遅延(均一網)

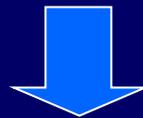


# 現実モデルへの応用

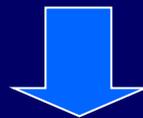
## ⌘ TCP/ IP

⊠ 信頼性の高いデータ通信

⊠ 基本的にはend - end間でARQを行う



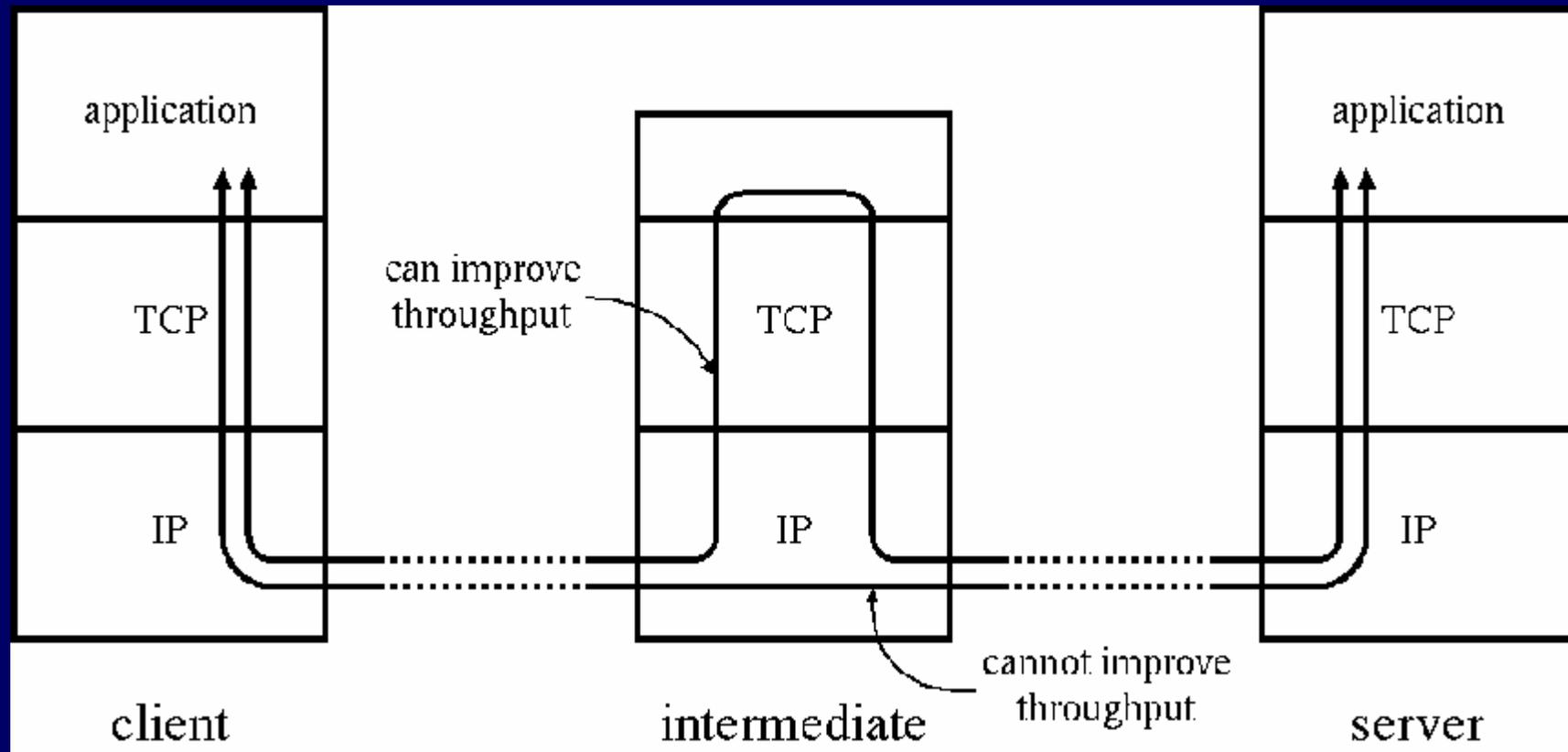
⌘ TCPコネクションを途中ノードで中継



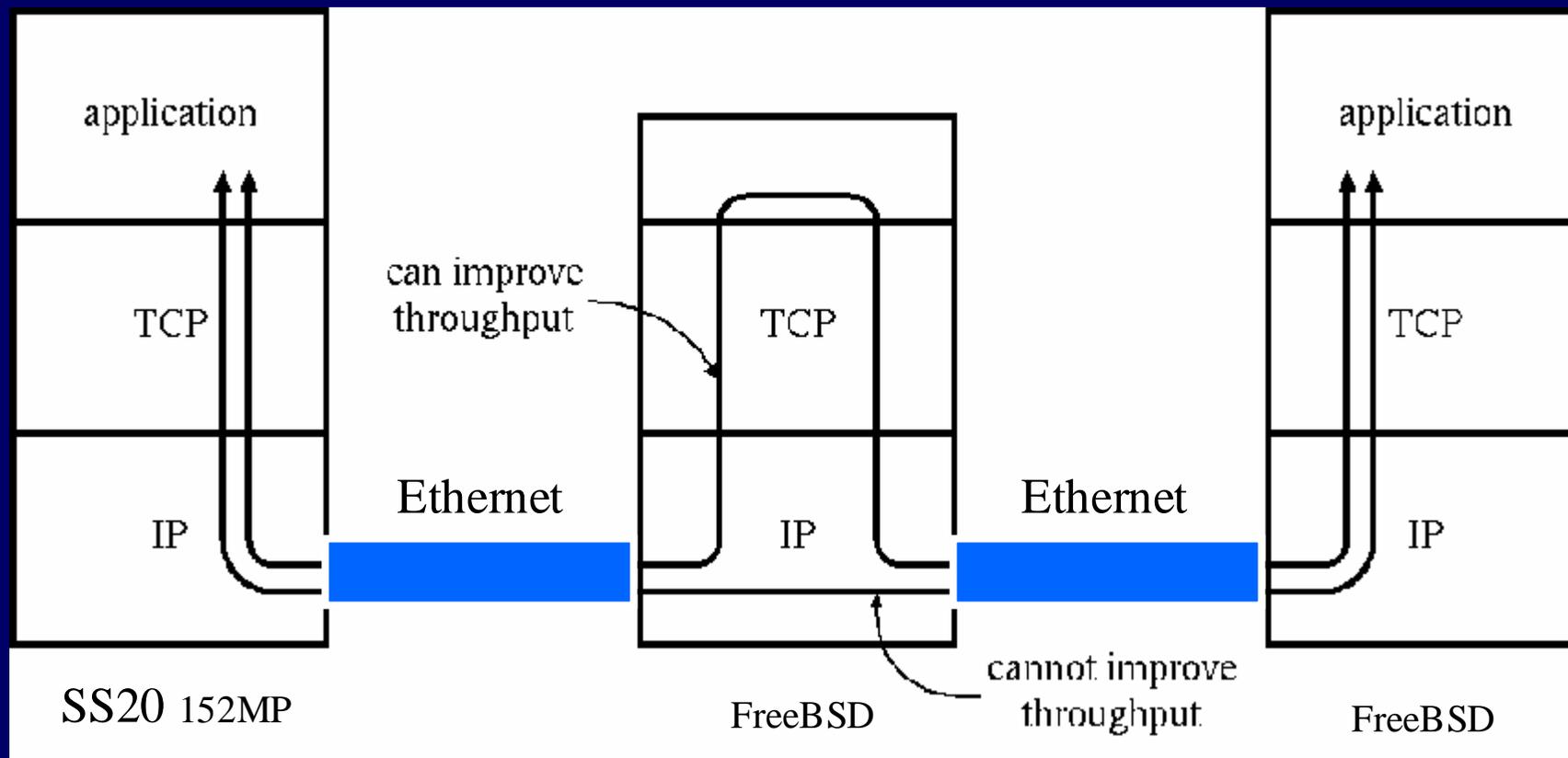
⌘ データ転送スループットの向上



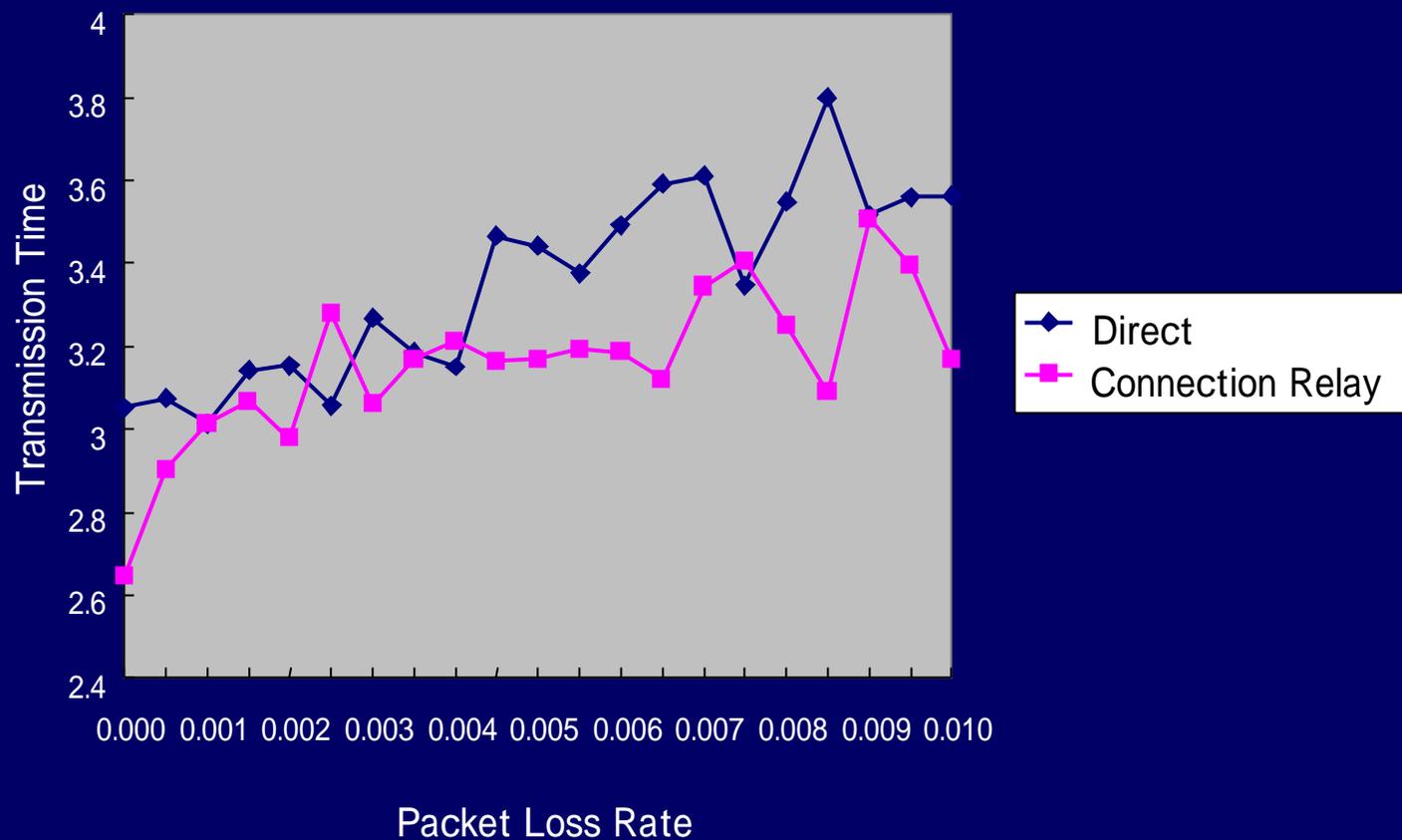
# TCP/IP試験実装例



# 実験モデル



# 実験結果



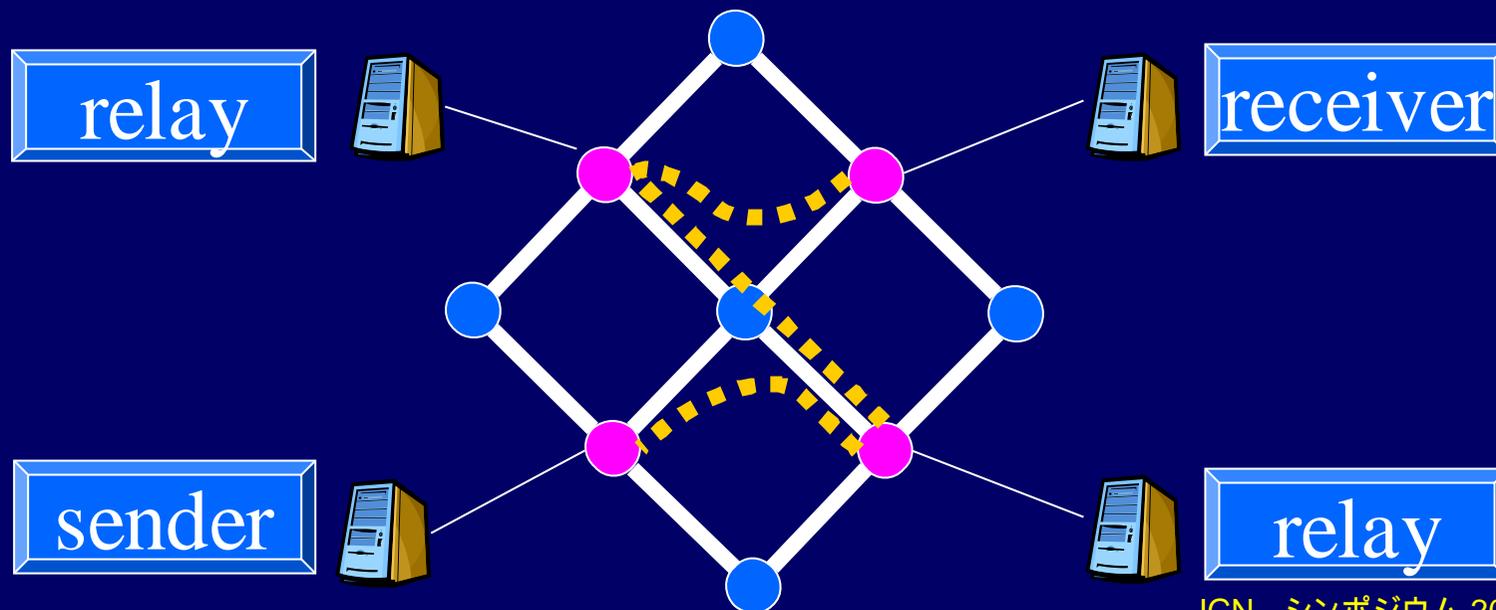
# オーバレイネットワーク

⌘ オーバレイネットワークをテストベッド上に構築

☒ 物理網と論理網が不整合

☒ 正確な性能評価が困難

- ネットワーク内部の制御技術研究としては不適切



# ネットワーク技術研究用テストベッドネットワークの必要性

## ⌘ 現在のテストベッド

- ⊡ ネットワーク内部(Underlay)は既存技術
- ⊡ 新たなネットワーク技術の検証に利用不能
  - ⊗ ネットワーク内部(Underlay)を自由にさわれないため
  - ⊗ オーバレイによるアプローチでは性能評価が研究として不適切

## ⌘ 新世代ネットワークアーキテクチャの創出には新たなネットワーク技術研究用テストベッドネットワークが不可欠

- ⊡ 従来のネットワーク内部制御技術にとらわれない自由な発想による新技術を検証
  - ⊗ まだまだ研究は終わっていない



# ネットワーク技術研究用テストベッドの 実現に向けて

⌘ 従来のテストベッドネットワークはやはり必須

☑ 高度アプリケーション技術研究開発用

☑ End端末間ネットワーク制御技術研究開発用

☒ 安定運用が要求される

時代とともに変化

一般的なトラヒックデータの獲得



# ネットワーク技術研究用テストベッドへの 要望

## ⌘ 必要機能

- ☒ 従来のテストベッドで得られるアプリケーションのトラフィックパターンをコピーして全く同条件のトラフィックを発生
- ☒ ネットワーク内部の制御をユーザが自由に追加, 設定, 拡張可能
  - ☒ PlanetLabの思想をバックボーンノードで実現
    - 安定性は二の次でよい
- ☒ 様々な研究開発用ツールを標準装備
  - ☒ 計測ツール
  - ☒ トラフィック発生ツール
    - などなど

## ⌘ このようなネットワーク構築自体が研究？

- ☒ アクティブネット？
  - ☒ パフォーマンスとの両立は可能か？

