

[奨励講演]  
べき則の性質を有するトポロジにおける  
フィードバック型フロー制御に起因する  
パケット転送遅延の評価

平山 孝弘\*、荒川 伸一\*、  
新井 賢一\*\*、村田 正幸\*

\*大阪大学大学院情報科学研究科  
\*\*NTTコミュニケーション科学基礎研究所

研究の背景

- インターネット利用形態の多様化
  - トラフィックの変動や多様な通信品質要求への対応の必要性
- インターネットにおけるトラフィックの特徴を把握することが、ネットワーク制御・設計のためには重要



インターネットトポロジが持つべき則に着目した、  
トラフィックの特徴やネットワーク性能の評価

トポロジの構造とネットワーク性能

- インターネットトポロジの出線数分布はべき則に従う
  - べき則: 出線数が  $k$  であるノードの出現確率が  $k^{-\alpha}$  に比例する
- 同一の出線数分布を持つトポロジは複数存在する
  - 出線数分布だけではトポロジの構造は決定されない
  - 構造の違いにより、ネットワーク性能も異なる [7]



べき則に従うという性質にのみ着目した議論は十分でない

[7] R. Fukumoto, S. Asakawa, and M. Murata, "On routing controls in ISP topologies: A structural perspective," in Proceedings of Chisacm, Oct. 2006.

研究の目的

- トポロジの構造とエンドホスト間フロー制御との相互作用に着目
  - トポロジが持つ構造的特徴がパケット転送遅延時間に与える影響を評価
  - 構造が異なるトポロジにおけるエンドホスト間フロー制御により生じるトラフィックの変動を評価



インターネットトポロジ特有のトラフィックの性質と、  
その要因となる構造的特徴を解明

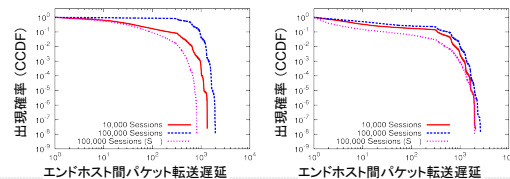
シミュレーション評価

- 構造が異なる2つのトポロジを使用
  - 523 ノード、1304 リンク
  - AT&T 社のルーラレベルトポロジ ... AT&T トポロジ
  - BA モデル [5] により生成したトポロジ ... BA トポロジ
  - パッファサイズ、回線容量は均一
- 2種のエンドホスト間フロー制御を比較
  - ランダムに選択した 2 ノード間でセッションを生成
    - セッション数: 10,000 または 100,000
  - ストップアンドウェイトによるフロー制御
  - TCP Reno によるフロー制御

[5] A.-L. Barabási and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," Science, vol. 286, pp. 509-512, Oct. 1999.

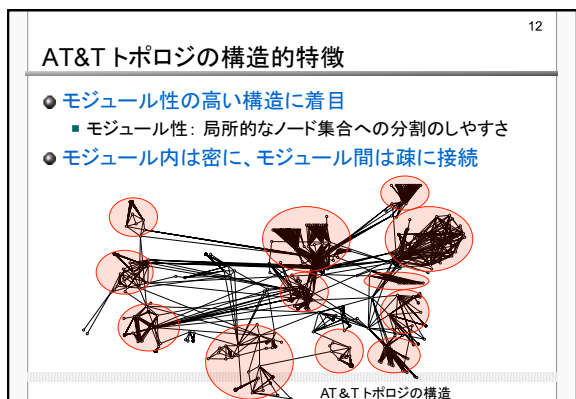
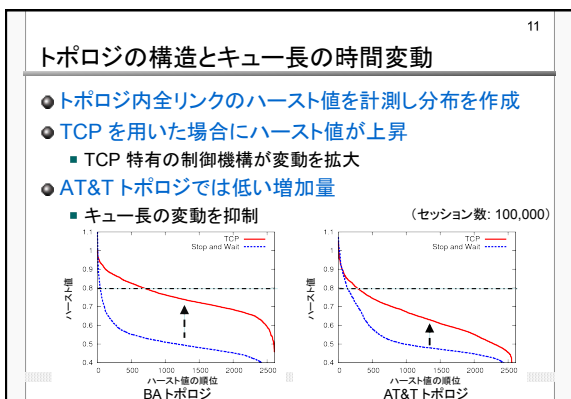
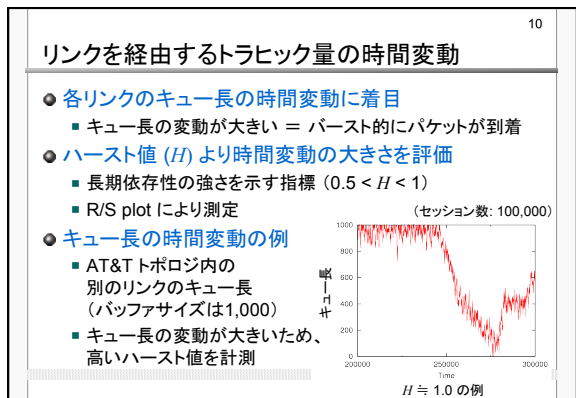
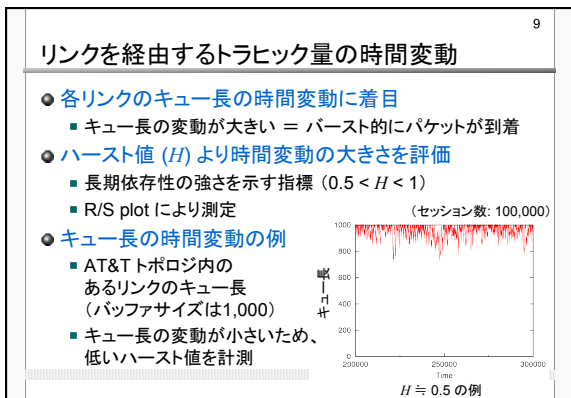
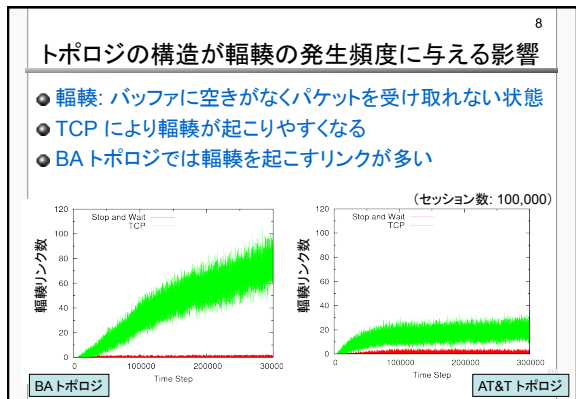
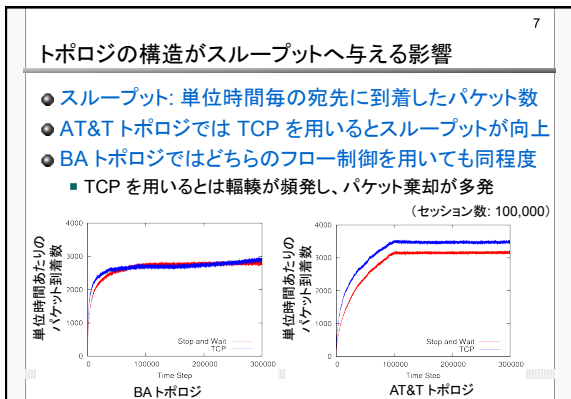
トポロジの構造に起因する転送遅延の増大

- エンドホスト間パケット転送遅延:  
送信ノードから受信ノードに到達するまでの遅延
- BA トポロジでは TCP を用いることで遅延が増大
  - キュー長増大により遅延が増加



BAトポロジ

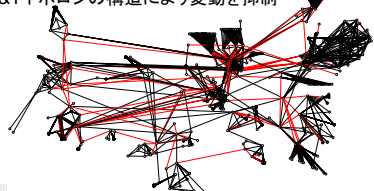
AT&Tトポロジ



13

### AT&Tトポロジによるトラフィック変動(低負荷時)

- **モジュール間を結ぶリンクで高いハースト値**
  - 多数のセッションにより生成されたパケットが集中するため
- **モジュール内を結ぶリンクでは低いハースト値**
  - AT&Tトポロジの構造により変動を抑制



AT&Tトポロジにおける  $H \geq 0.8$  のリンク (セッション数: 10,000)

14

### AT&Tトポロジのキュー長の変動(高負荷時)

- **モジュール間を結ぶリンクではハースト値が低くなる**
  - リンクが最大限利用され、キュー長が下がらなくなるため
- **高いハースト値を持つリンクはモジュール内へと遷移**



AT&Tトポロジにおける  $H > 0.8$  のリンク (セッション数: 100,000)

15

### まとめと今後の課題

- **トポロジの構造とエンドホスト間フロー制御の影響を評価**
  - TCP によりパケット転送遅延およびキュー長の変動が増大
  - AT&Tトポロジでは TCP によりスループットが向上
- **AT&Tトポロジはキュー長の変動を抑制**
  - AT&Tトポロジが持つモジュール構造が要因
    - モジュール内を結ぶリンクのキュー長の変動を抑制
    - セッション数が増加するとモジュール内を結ぶリンクで大きな変動
- **今後の課題**
  - トラフィック変動を考慮した回線容量割り当て手法の検討
  - トラフィックの複雑な変動に適応可能なトポロジ設計手法の検討