

着目する TCP コネクションの 相互作用を考慮した TCP の定常特性 および過渡特性解析に関する検討

大阪大学 大学院基礎工学研究科

久松 潤之

hisamatu@ics.es.osaka-u.ac.jp

TCP (Transmission Control Protocol)

- **パケット再送機能**
 - 棄却されたパケットを受信側ホストへ再送
- **輻輳制御機構**
 - ウィンドウサイズによって送出パケット数を調整

従来の研究

- パケット棄却率を一定と仮定
- 定常状態におけるTCP の特性解析
 - スループット、ウィンドウサイズの分布



定常状態に至るまでのTCP の過渡特性については知られていない

実際のネットワークでは、パケット棄却率は変動

我々のこれまでの研究

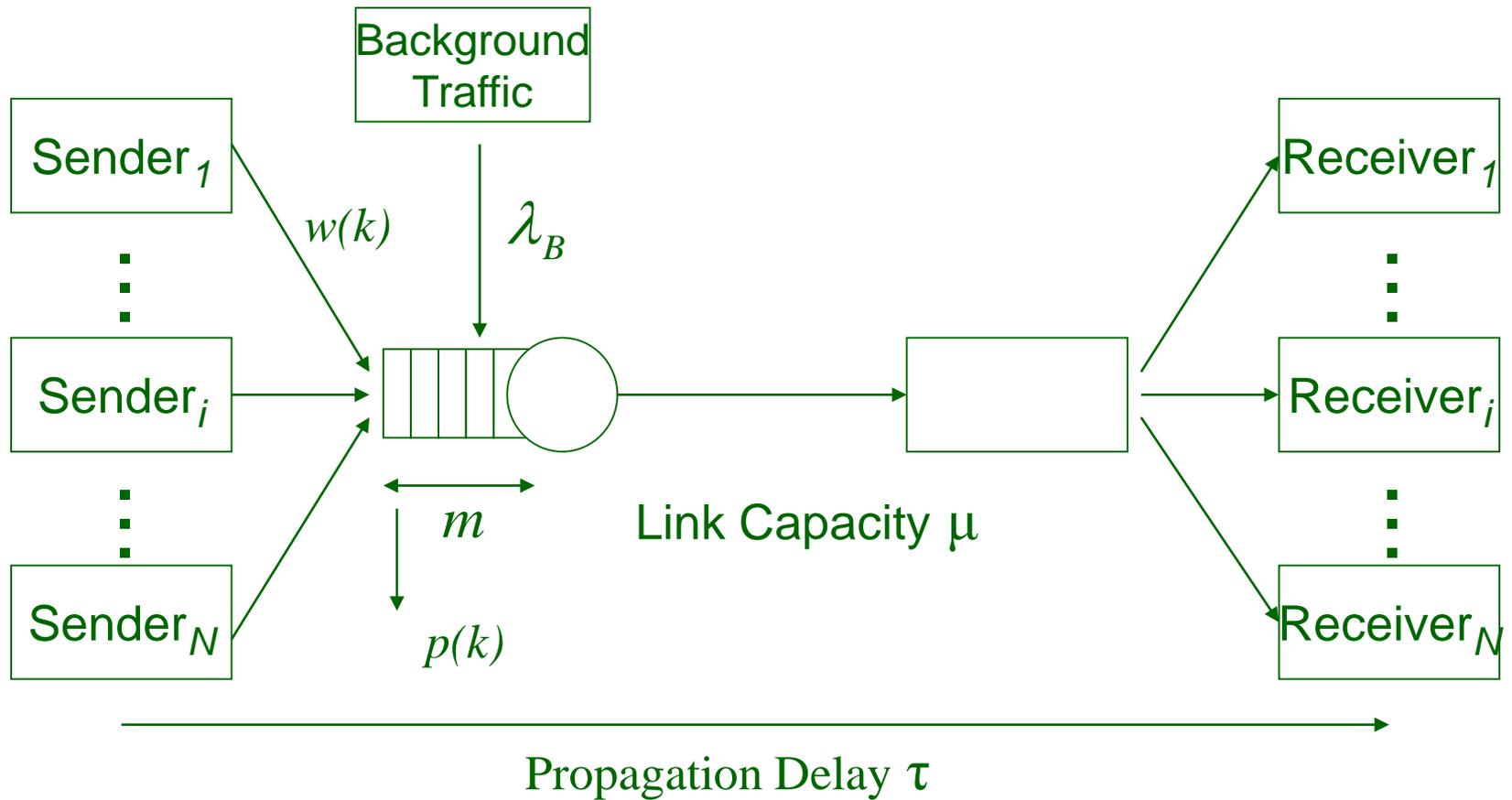
- ネットワークをフィードバックシステムとしてモデル化
 - TCPの輻輳制御機構 → 相互作用するシステム
 - TCPから見たネットワーク
- 過渡特性解析
 - ウィンドウサイズ の時間的変動から判断

[2] 高垣景一, 大崎博之, 村田正幸, “流体近似法および待ち行列理論を組み合わせたTCPのフィードバック型輻輳制御機構のモデル化“; 交換システム研究会, March 2001

研究の目的

- ネットワークをフィードバックシステムと捉える
- 定常状態解析
 - スループット、パケット棄却率、キュー長を導出
- 過渡特性解析
 - TCP のコネクション数、伝播遅延時間、リンク容量、バッファサイズが過渡特性に与える影響を明らかに

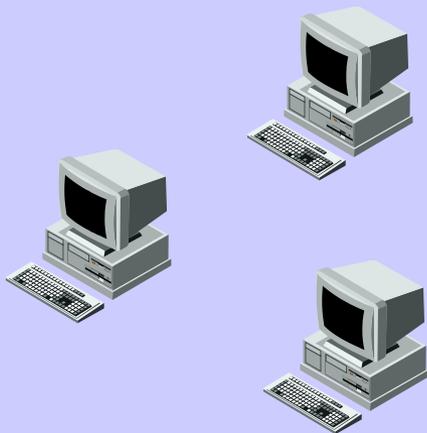
解析モデル



ネットワーク全体のモデル化

- フィードバックシステムとしてモデル化
 - TCPから見たネットワーク
 - TCPの輻輳制御機構

TCPの輻輳制御機構



w : ウィンドウサイズ



p : パケット棄却率



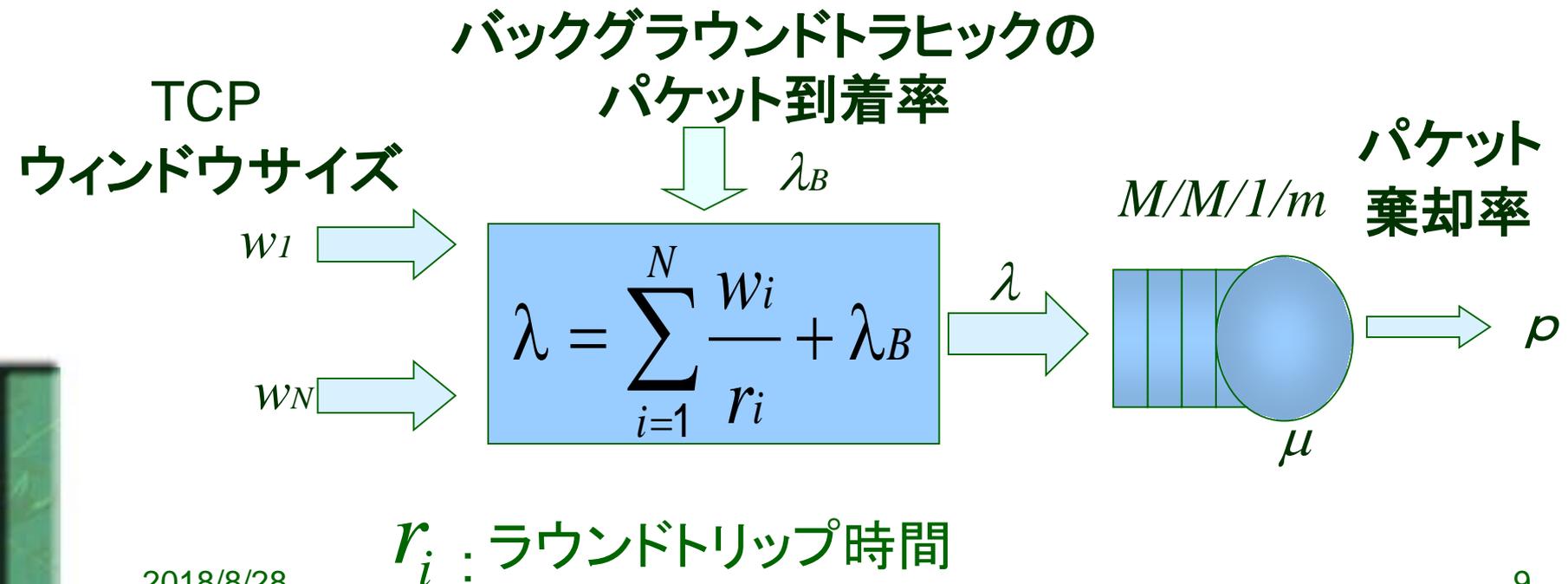
TCPから見た
ネットワーク

TCP の輻輳制御機構のモデル化

- 文献[2]のモデルを使用
- 流体近似法を用いたモデル化
- 入力：パケット棄却率 出力：ウィンドウサイズ
- 常に輻輳回避フェーズでの動作を仮定

TCP から見たネットワークのモデル化

- 入力：ウィンドウサイズ 出力：パケット棄却率
- M/M/1/m 待ち行列を用いてモデル化



定常状態解析

- 状態遷移方程式を利用
- 定常状態における、スループット、
パケット棄却率、平均キュー長の導出
- 定常状態におけるウィンドウサイズ
= 十分に時間が経過したときのウィンドウサイズの
期待値

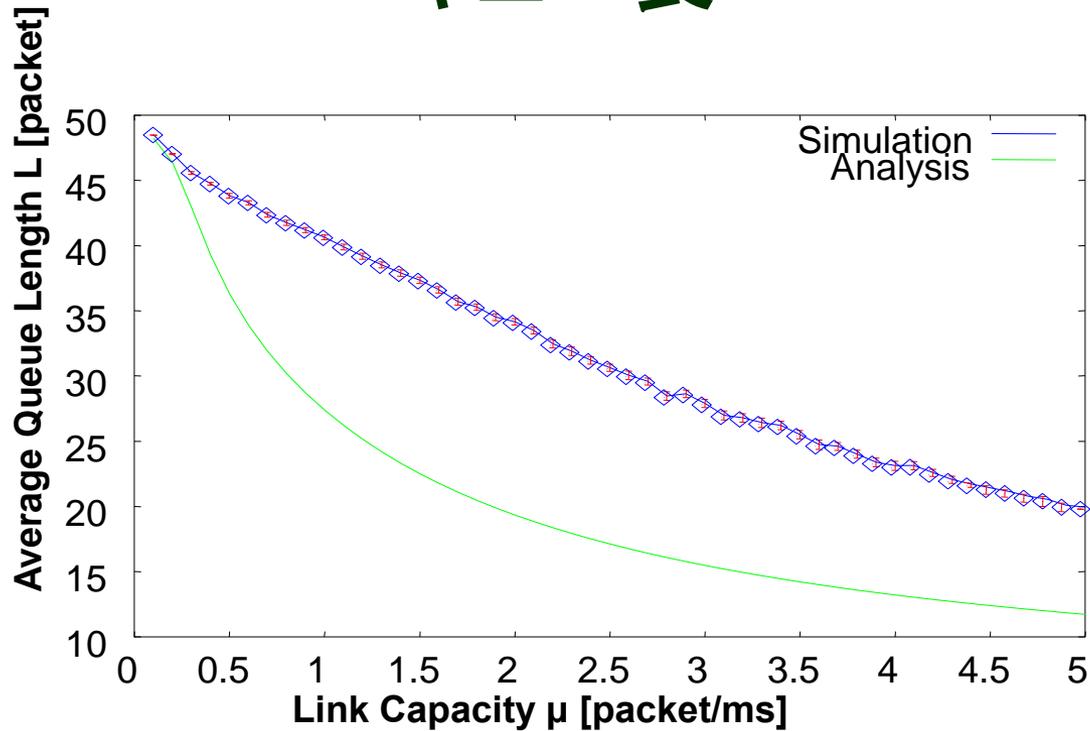
平衡点の導出

- **平衡点** : 定常状態での TCP の
ウィンドウサイズ、パケット棄却率
- **状態遷移方程式**において、
 $w(k+1) = w(k)$ 、 $p(k+1) = p(k)$ とおくことで導出
- **キュー長** : M/M/1/m の平均待ち行列長
- **パケット棄却率**: M/M/1/m 待ち行列における
客の棄却率
- **スループット**
:
ウィンドウサイズ/ラウンドトリップ時間

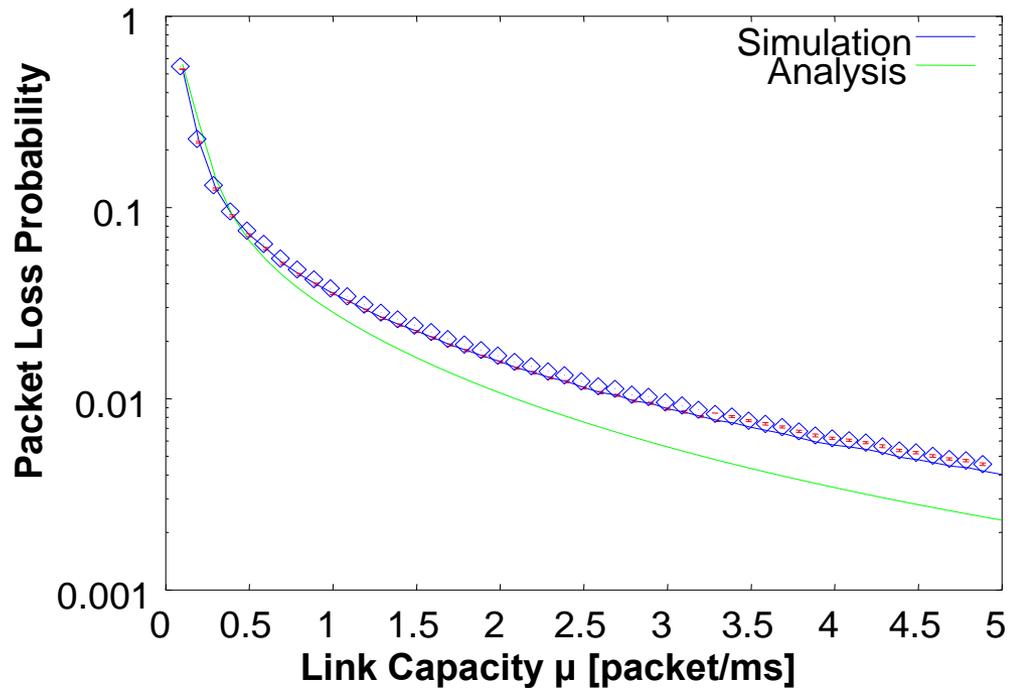
数値例 / シミュレーションで用いるパラメータ

- コネクション数 $N:10$ [本]
- バックグラウンドトラヒックの平均到着率
 $\lambda_b : 0.2$ [packet/ms]
- バックグラウンドトラヒック
ク : ポアソン過程に従う
UDP パケット
- バッファサイズ $m : 50$ [packet]
- 伝播遅延時間
- TCP と UDP のパケット長 : 1000 [byte]

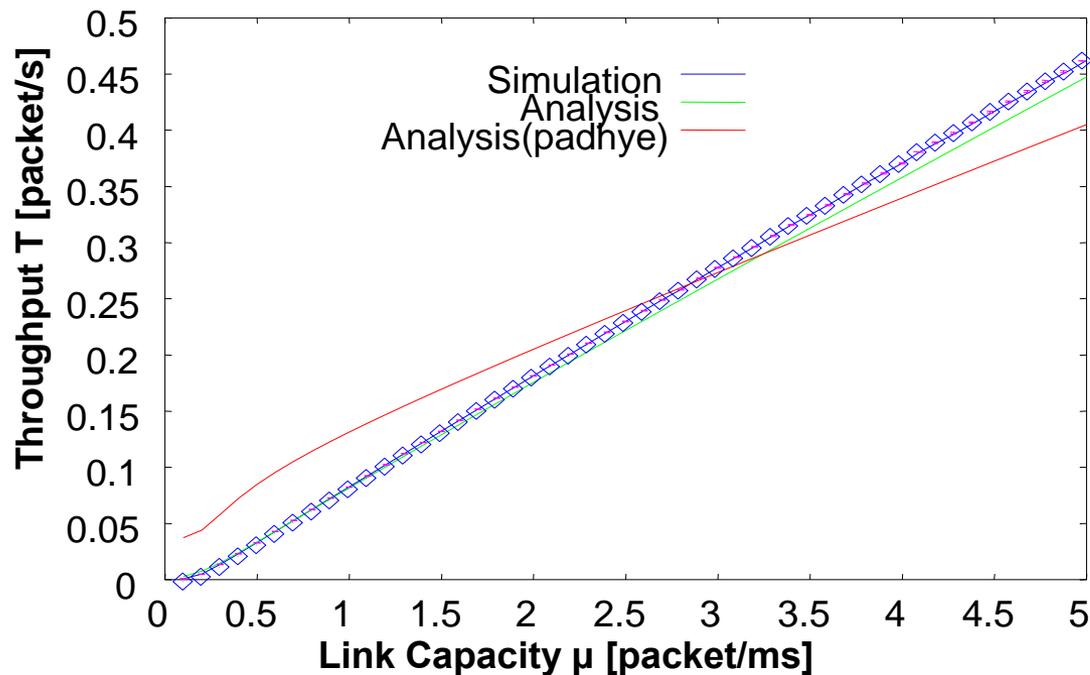
ボトルネックリンクの容量が変化した場合 キュー長



ボトルネックリンクの容量が変化した場合 パケット棄却率



ボトルネックリンクの容量が変化した場合 スループット



Analysis(padhye) : 文献[3]の結果の式を用いて計算した値

[3]J. Padhye, V. Firou, D. Towsley, and J. Kurose, "Modeling TCP throughput: a simple model and its empirical validation", in Proceedings of ACM SIGCOMM'98, 1998

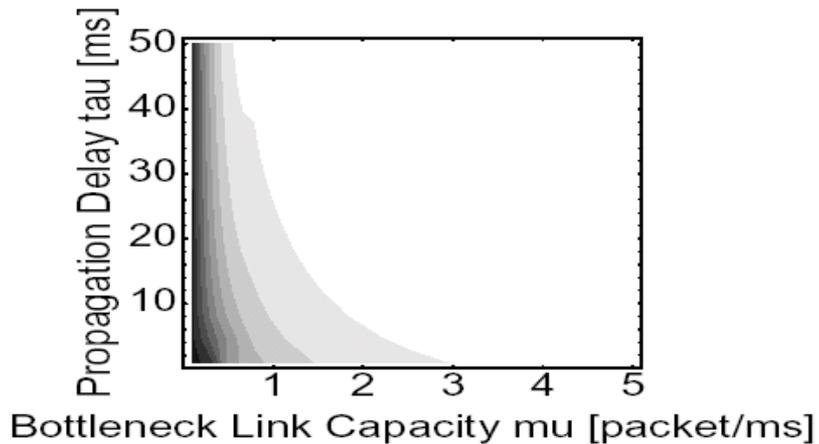
過渡特性解析

- 過渡状態において、ウィンドウサイズおよびキュー長がどのように変動するか明らかに
- 制御理論を適用して、平衡点の近傍においてTCP の振る舞いを解析

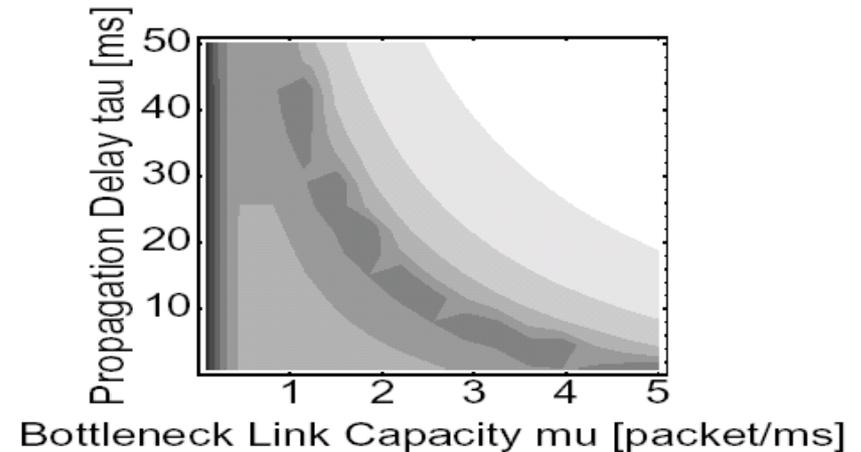
過渡特性解析の概要

- 状態遷移方程式を線形化
- 特性方程式の固有値 s_i が特性を決定する
 - 安定条件 : $|s_i|$ の最大値 が1より小さい
 - 過渡特性 : $|s_i|$ の最大値が小さいほどよい

コネクション数を変化させた場合の 最大絶対値



N=5

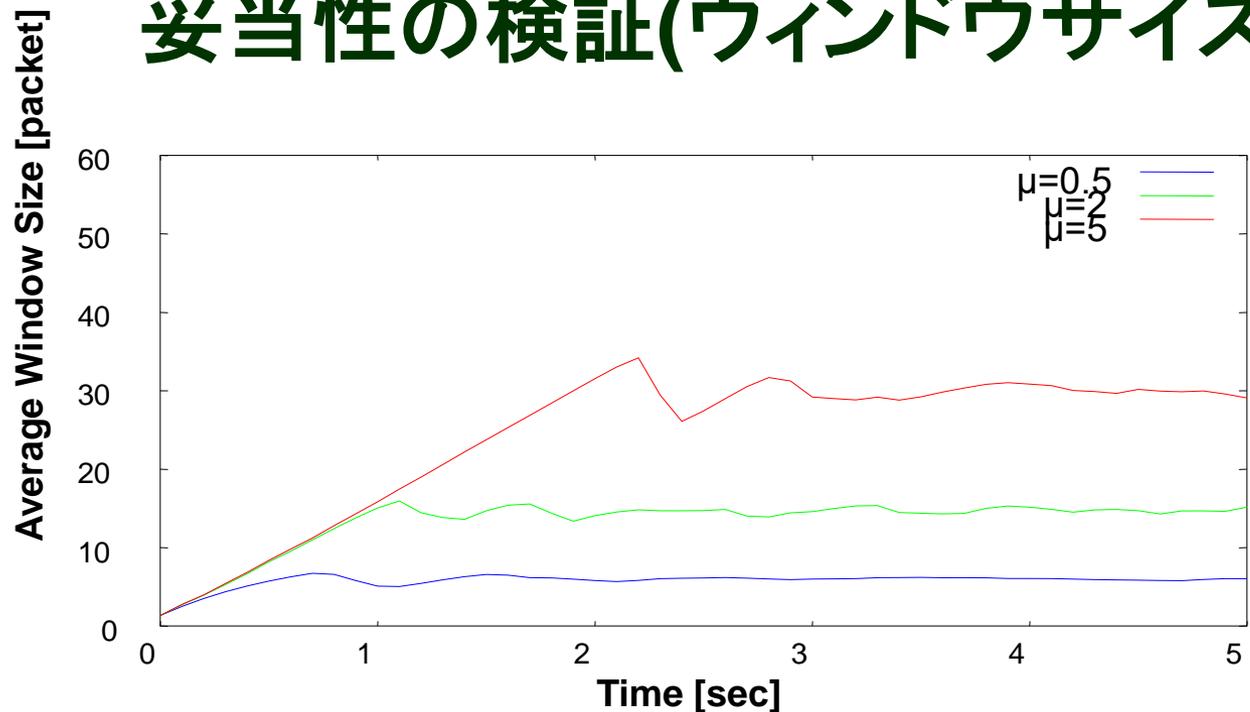


N=15

白い部分 \Leftrightarrow 黒い部分
最大絶対値 大 \Leftrightarrow 小

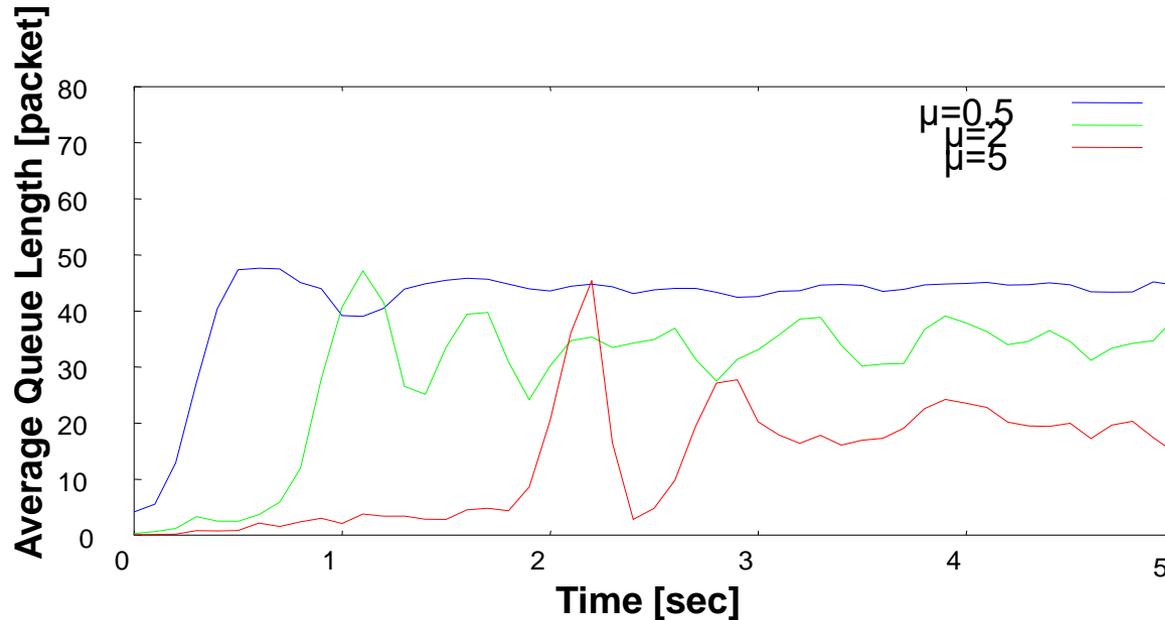
帯域遅延積：過渡特性、安定性を左右

妥当性の検証(ウィンドウサイズ)



リンク容量 [packet/ms]	固有値の 最大絶対値
0.5	0.619
2	0.780
5	0.923

妥当性の検証(キュー長)



リンク容量 [packet/ms]	固有値の 最大絶対値
0.5	0.619
2	0.780
5	0.923

まとめと今後の課題

- TCP の定常特性と過渡特性の解析
 - TCP のスループット、パケット棄却率、ボトルネックルータにおける待ち行列長の導出
 - コネクション数または、バックグラウンドトラヒックの量が大きいと ネットワークはより安定する
 - 帯域遅延積: TCP の安定性や過渡特性を決定
- 今後の課題
 - 一般的なネットワークへの適用
 - 近似解析の精度の向上

TCP の輻輳制御機構のモデル化

- 文献[2]のモデルを使用

$$w(k+1) = w(k) + \frac{1 - p(k+1 - w(k))}{w(k)} \\ - \frac{(1 - \hat{Q}(w(k), p(k))) p(k+1 - w(k)) w(k)}{2} \\ - p(k+1 - w(k)) \hat{Q}(w(k), p(k))$$

$\hat{Q}(w, p)$: ウィンドウサイズ w 、パケット棄却率 p のときに
タイムアウトによってパケット棄却を検知する確率

発表内容

- 研究の背景
- モデル化の概要
- 定常特性解析
- 過渡特性解析
- まとめと今後の課題

シミュレーションの設定

- 解析モデルと同じネットワークポロジ
- 24秒間のシミュレーションのうち終わりの20秒間の値を採用
- 50回のシミュレーションの平均値と95%の信頼区間を得る

モデル化の概要

- フィードバックシステムとしてモデル化
 - TCP の輻輳制御機構
 - 入力: パケット棄却率 出力: ウィンドウサイズ
 - TCP から見たネットワーク
 - 入力: ウィンドウサイズ 出力: パケット棄却率
- すべての TCP コネクションの伝播遅延時間が等しく、同期して動作すると仮定
- システムの状態: ウィンドウサイズとパケット棄却率で一意に表される。