画像情報特論 (3)

- TCP/IP (2)

  - TCP (Transport Control Protocol)
  - UDP (User Datagram Protocol)

2004.04.30

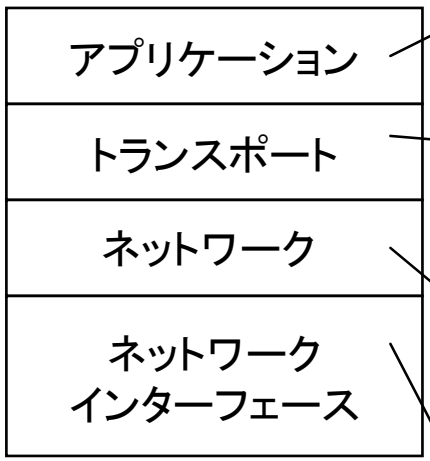
情報ネットワーク専攻　甲藤二郎
E-Mail: katto@waseda.jp

TCP

Transport Control Protocol

インターネットの基礎

プロトコルスタック



アプリケーション

HTTP, RTSP, FTP, Telnet, ...

RTP: 実時間メディア用途

端末・端末間

TCP: 誤り訂正、順序制御、フロー制御 … 信頼性重視

UDP: オーバーヘッド少 … 低遅延、高速性重視

端末・ルータ間、ルータ・ルータ間

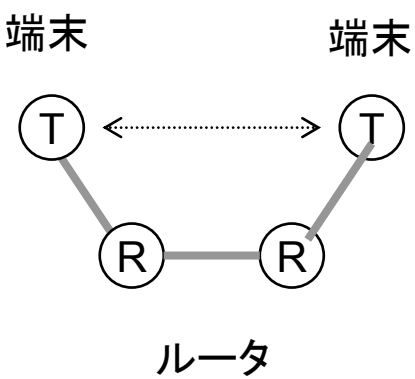
IP: 経路制御、フラグメンテーション

ICMP: エラー通知

IGMP: マルチキャスト (mbone)

個別リンク

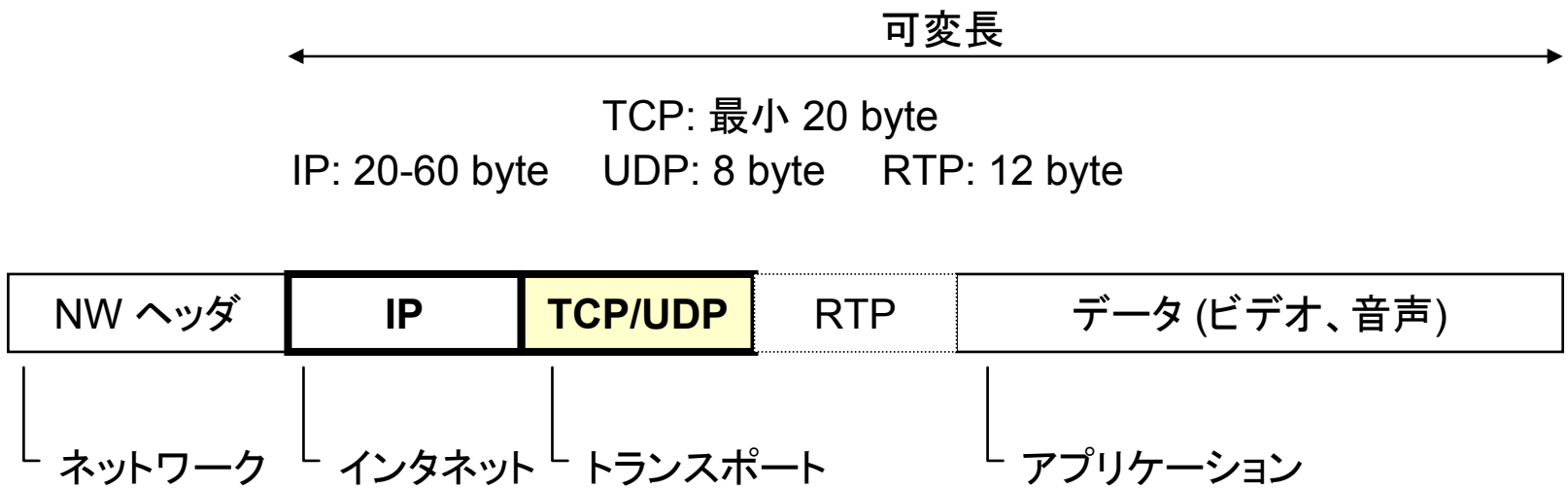
イーサーネット, PPP, X.25, ATM, …



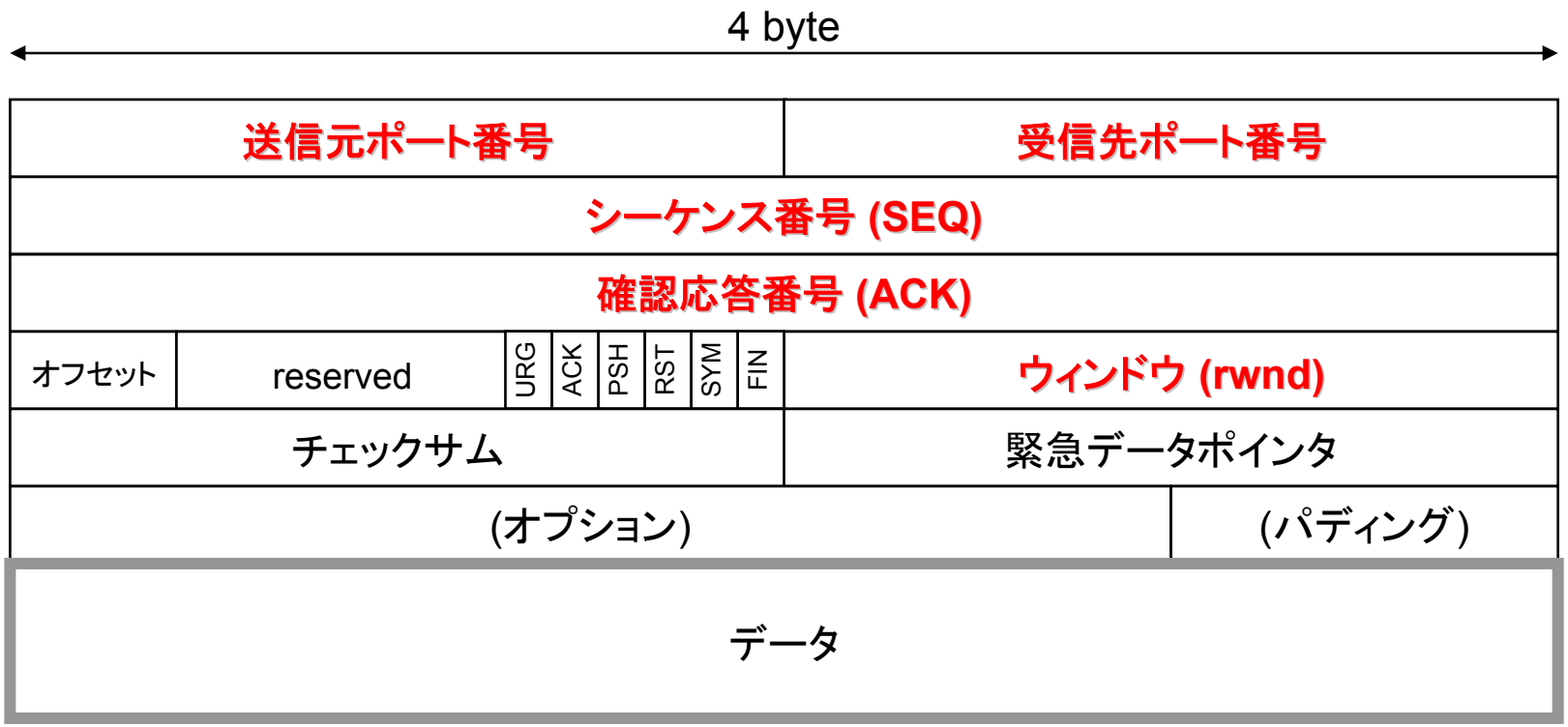
ルータ

IP データグラム

IP データグラム



TCP ヘッダ



ポート番号: アプリケーションの識別

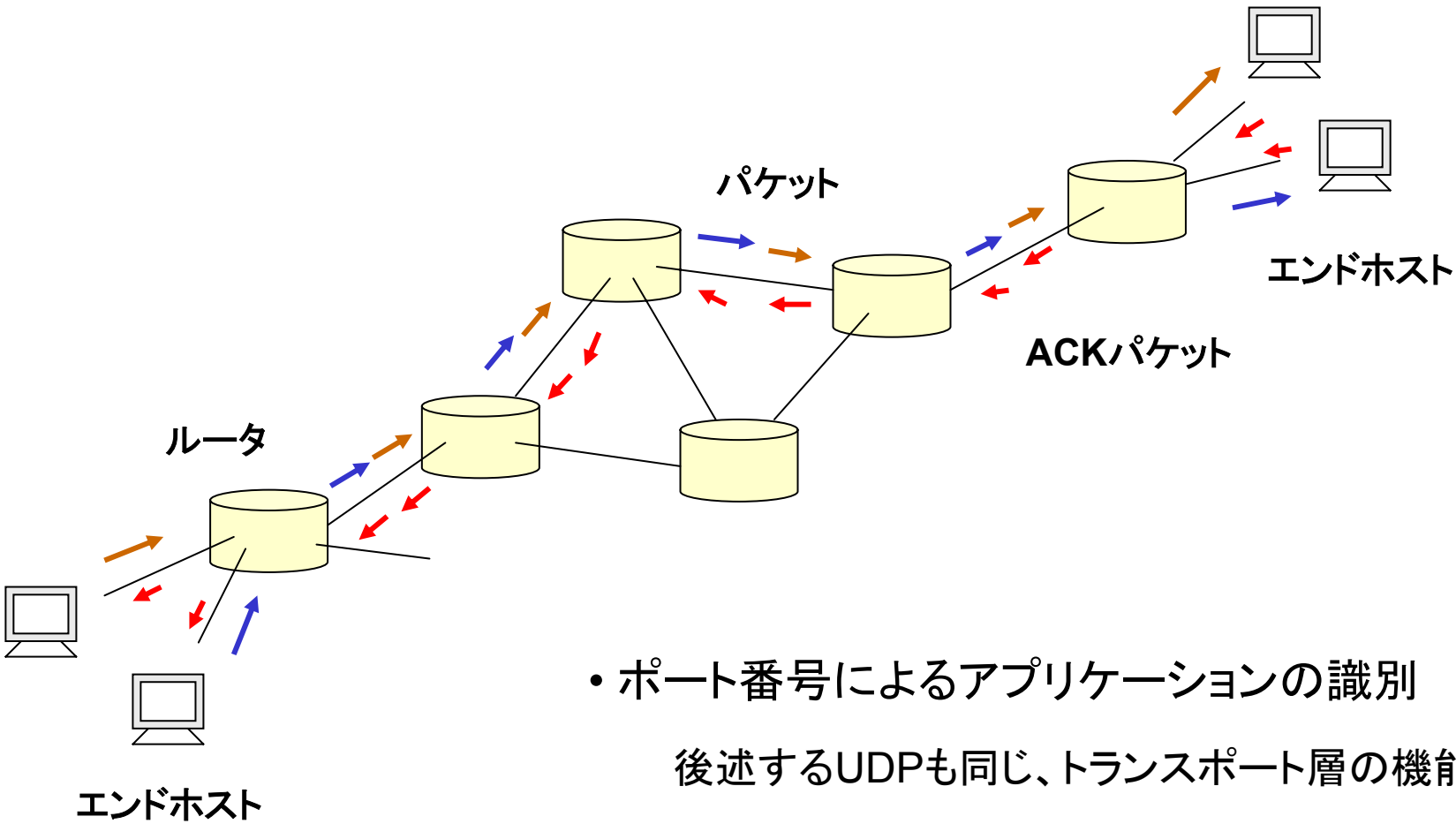
シーケンス番号: パケット廃棄、順序逆転を検出 (バイト単位でカウント)

確認応答番号: 次パケットで受信予定のシーケンス番号、あるいは重複 ACK の通知

ウィンドウ: 受信者が求める最大セグメントサイズ

TCP の機能

- End-to-End の確認応答による誤り制御とフロー制御



- ポート番号によるアプリケーションの識別

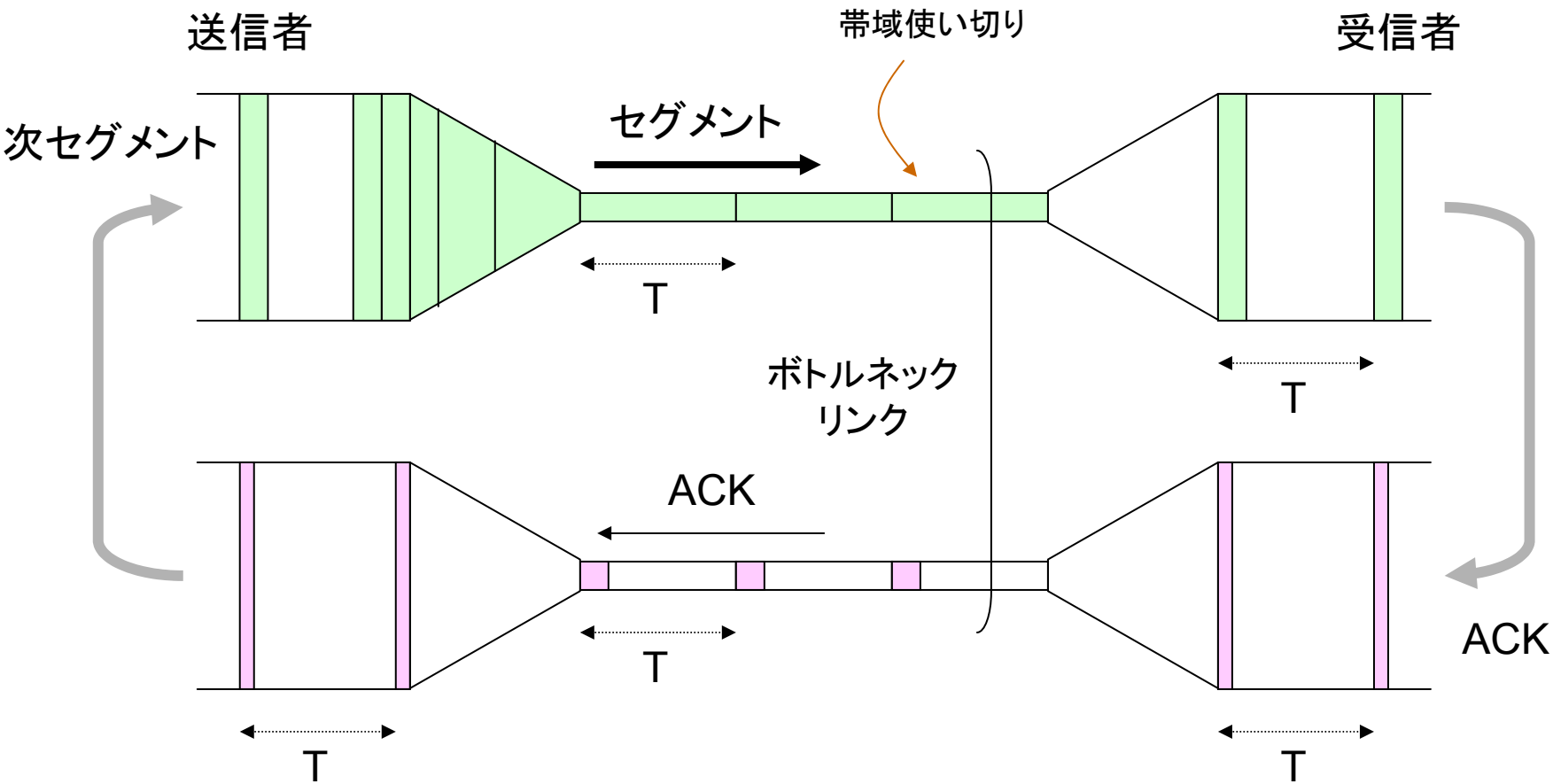
  後述するUDPも同じ、トランスポート層の機能

  いわゆる well-known port など

セルフ・クロッキング

self clocking

- ACK の受信間隔 (ボトルネック速度) に合わせてパケットを送信

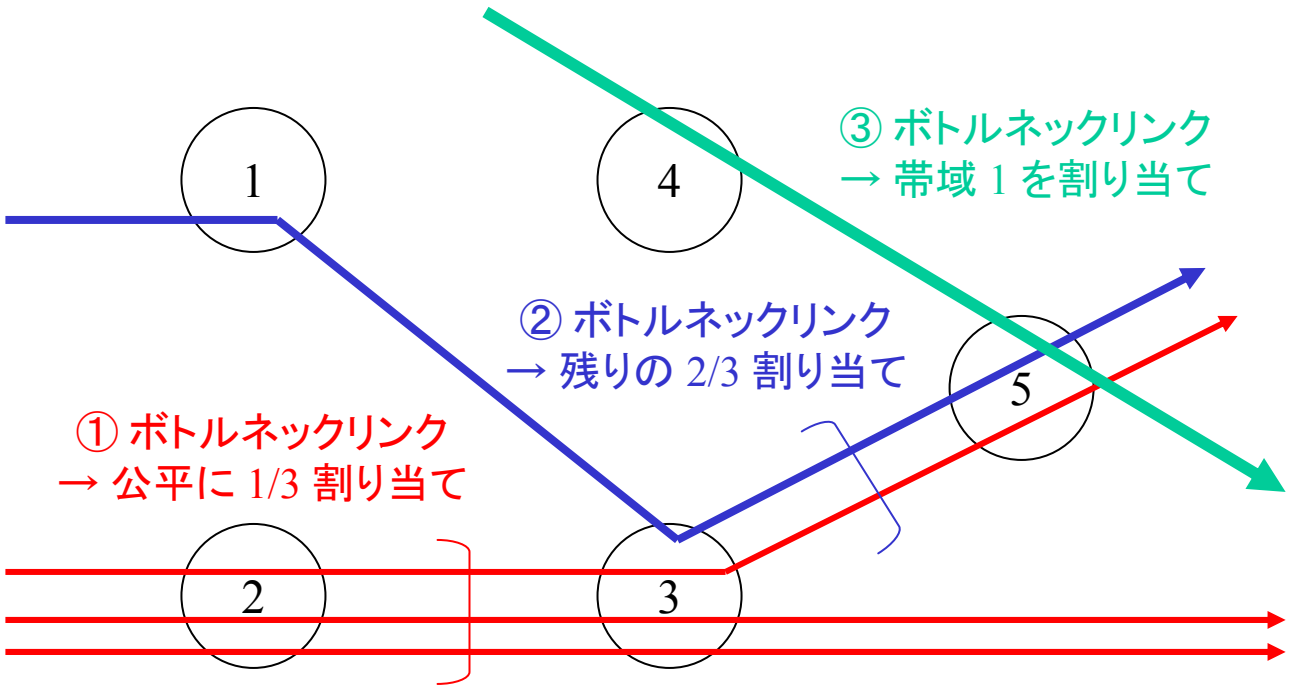


V.Jacobson: “Congestion Avoidance and Control,” SIGCOM’88.

最小最大フロー制御

- 最も少ない帯域割り当てを受けているユーザに対し、最大の帯域割り当てを行う動作を、すべてのユーザに対して繰り返す (**最小最大公平**)。

(例) すべてのリンク容量が 1 の場合の以下 (5 セッション) の最小最大公平は？

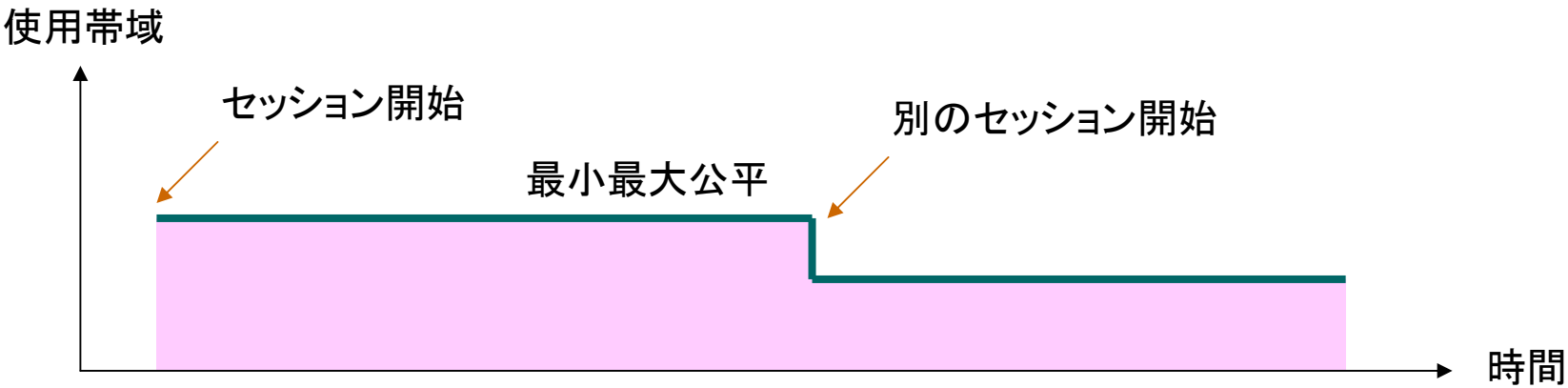


D.Bertsekas and R.Gallager: “Data Networks,” Prentice Hall.

TCPにおけるフロー制御

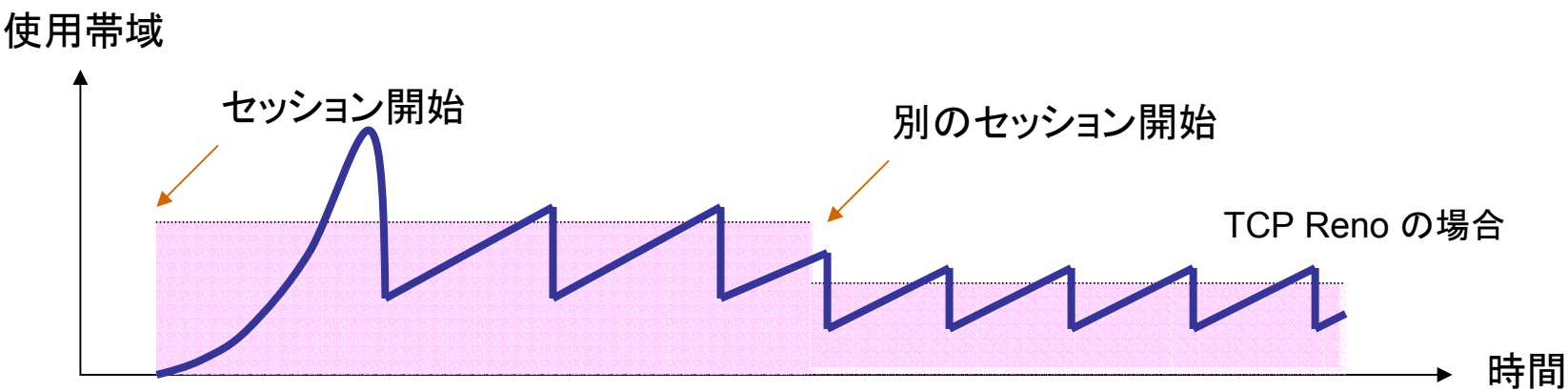
理想：

＊集中型の帯域管理装置 (電話に近い)



TCP：スロースタート + ふくそう回避

＊端末毎の分散制御



いろいろなTCP

	要点
TCP Tahoe	スロースタート + ふくそう回避 + 高速再送
TCP Reno	Tahoe + 高速回復
TCP Vegas	RTT (round trip delay) ベースのふくそう制御
TCP SACK	Reno + 選択的再送 (selective repeat)

- スロースタート: slow start
- ふくそう回避: congestion avoidance
- 高速再送: fast retransmission
- 高速回復: fast recovery

＊ 広く用いられているのは TCP Reno

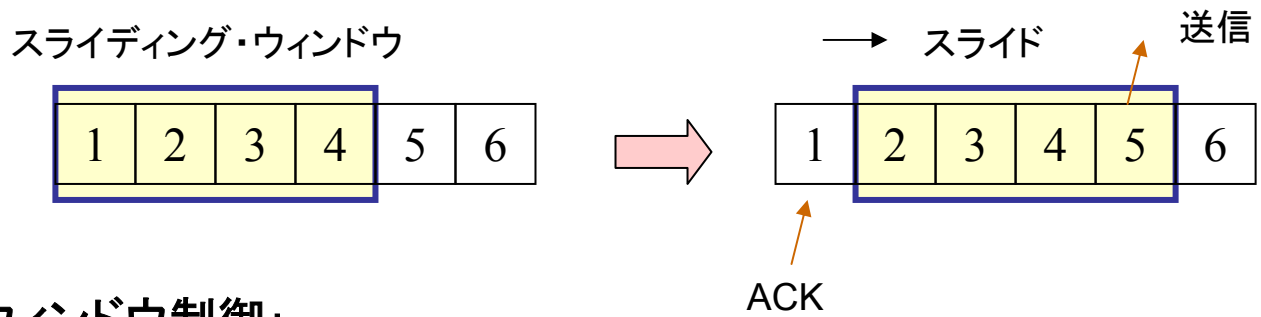
古典的なTCP

- **Go-Back-N ARQ (スライディング・ウィンドウ):**

  送信者は ACK を待たずに N 個のパケットを送信する

  受信者が ACK を返すとウィンドウがスライドして次パケットが送出される

  しばしば n 個のパケット毎に1つの ACK を返す (累積応答)



- **ウィンドウ制御:**

  rwnd: 広告ウィンドウ (advertizement window)

  受信者が要求するセグメント (パケット) サイズ、あるいは受信可能なセグメントサイズを通知し、スライディングウィンドウ (送信パケット数) を制御

欠点: ボトルネックリンクに非常に弱い

TCP Tahoe (1)

- **送信側パラメータを三つ追加:**

  cwnd: ふくそうウィンドウ (congestion window: 初期値1)

  ssthresh: スロースタートとふくそう回避のモード選択閾値 (初期値大)

  tcprecvthresh: 高速再送を行う重複ACK数 (通常は3)

- **スロースタート (指数増加: スループット探索モード):**

  if (cwnd < ssthresh)

  --- ACK 毎にパケットを2個送出 ---

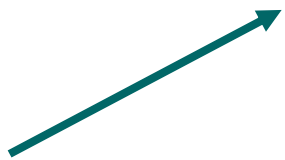
  cwnd += 1;

- **ふくそう回避 (加法増加: スループット安定モード):**

  else if (cwnd >= ssthresh)

  --- ACK 毎にパケットを1個送出、cwnd 個送出後1個追加 ---

  cwnd += 1/cwnd;



V.Jacobson: “Congestion Avoidance and Control,” SIGCOM’88.

TCP Tahoe (2)

- **二通りのパケット廃棄の検出**:

  (1) 重複 ACK の受信 (TCP ヘッダの ACK ナンバが更新されない場合)

  (2) タイムアウト (ACK が返って来ない場合)

- **高速再送 (軽いふくそう)**:

  ACK が返って来るということは深刻なふくそうではない (仮定)

  if (重複 ACK 数 == tcprecvthresh)

  --- パケットを再送 ---

  ssthresh = cwnd/2; cwnd = 1; ⇐ **スロースタートから再開 (ssthresh > cwnd)**

- **タイムアウト値の更新 (重いふくそう)**:

  タイムアウトが起こるということは深刻なふくそう (仮定)

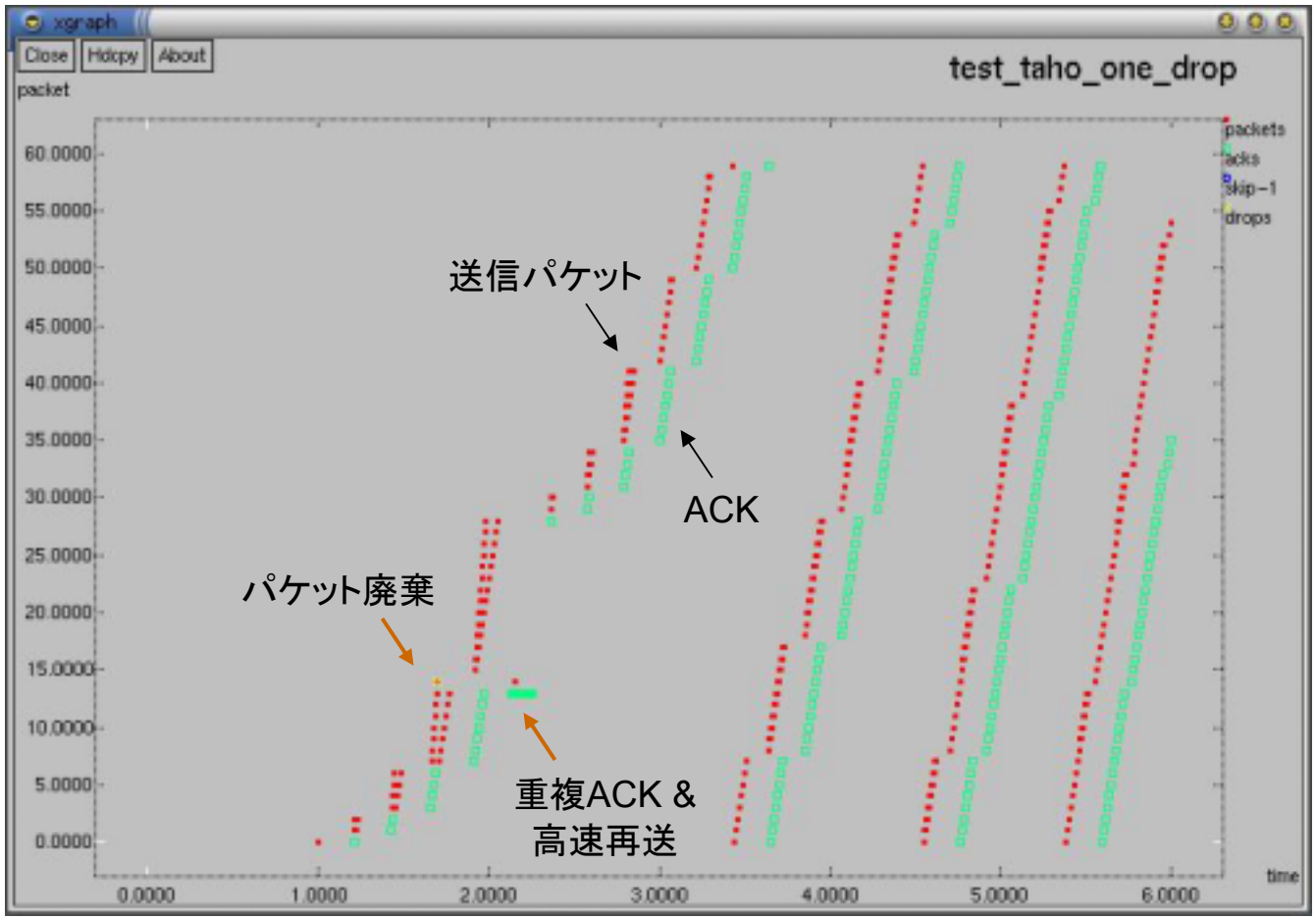
  if (タイムアウト)

  --- パケットを再送 ---

  timeout *= 2; ⇐ **指数的バックオフ**

TCP Tahoe (3)

パケット数



時間

スロースタート(1)　スロースタート(2)　ふくそう回避

NS (Network Simulator) によるシミュレーション例

TCP Reno (1)

- **Tahoe の問題点**:

  高速再送後、スロースタートに戻る必要は無い

  パケット廃棄前の cwnd の値は安全 (仮定: 現在の cwnd の半分)

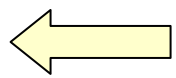
- **高速回復**:

  if (重複 ACK 数 == tcprecvthresh)

  --- パケットを再送 (高速再送) ---

  ssthresh = cwnd/2;

  cwnd = cwnd/2 + tcprecvthresh;



ふくそう回避モードから再開
(ssthresh < cwnd)

安全な値

重複 ACK 分 (ACK が正しく返っている)

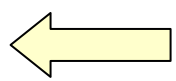
  if (重複 ACK 数 > cwnd/2)

  --- 重複 ACK 毎に新しいパケットを一つ送信 ---

これが妥当な理由を考えよ
(ヒント: cwnd の値が廃棄検出
直前の cwnd よりも大きくなる)

  if (再送パケットの確認応答)

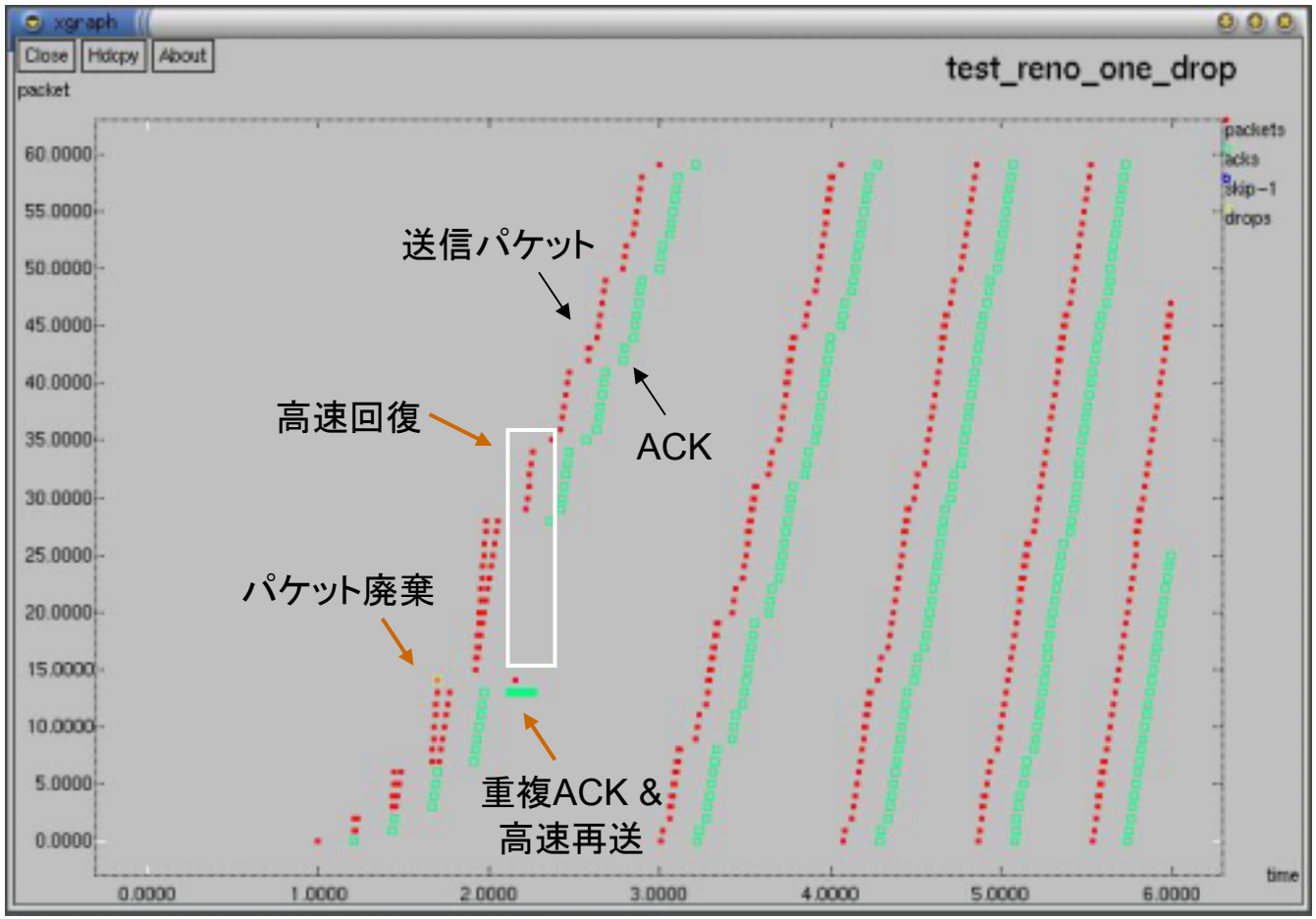
  cwnd = ssthresh;



通常のふくそう回避へ

TCP Reno (2)

パケット数



時間

スロースタート　高速回復　ふくそう回避

NS (Network Simulator) によるシミュレーション例

TCP Vegas (1)

- **Reno の問題点**:

  故意にパケット廃棄を発生させて最適なスループットを探っている。
  パケット廃棄を起こさなければ、スループットはもっと上がるはず。

- **ラウンドトリップ遅延 (RTT) に基づくふくそう回避**:

$$Diff = \frac{cwnd}{RTT\_\min} - \frac{cwnd}{RTT\_current}$$

最大送信レート　　実際の送信レート

⇐ ネットワーク内バッファの見積もり (未到達セグメント量)

$$cwnd = \begin{cases} cwnd + 1 & (Diff < \alpha) \\ cwnd & (otherwise) \\ cwnd - 1 & (Diff > \beta) \end{cases}$$

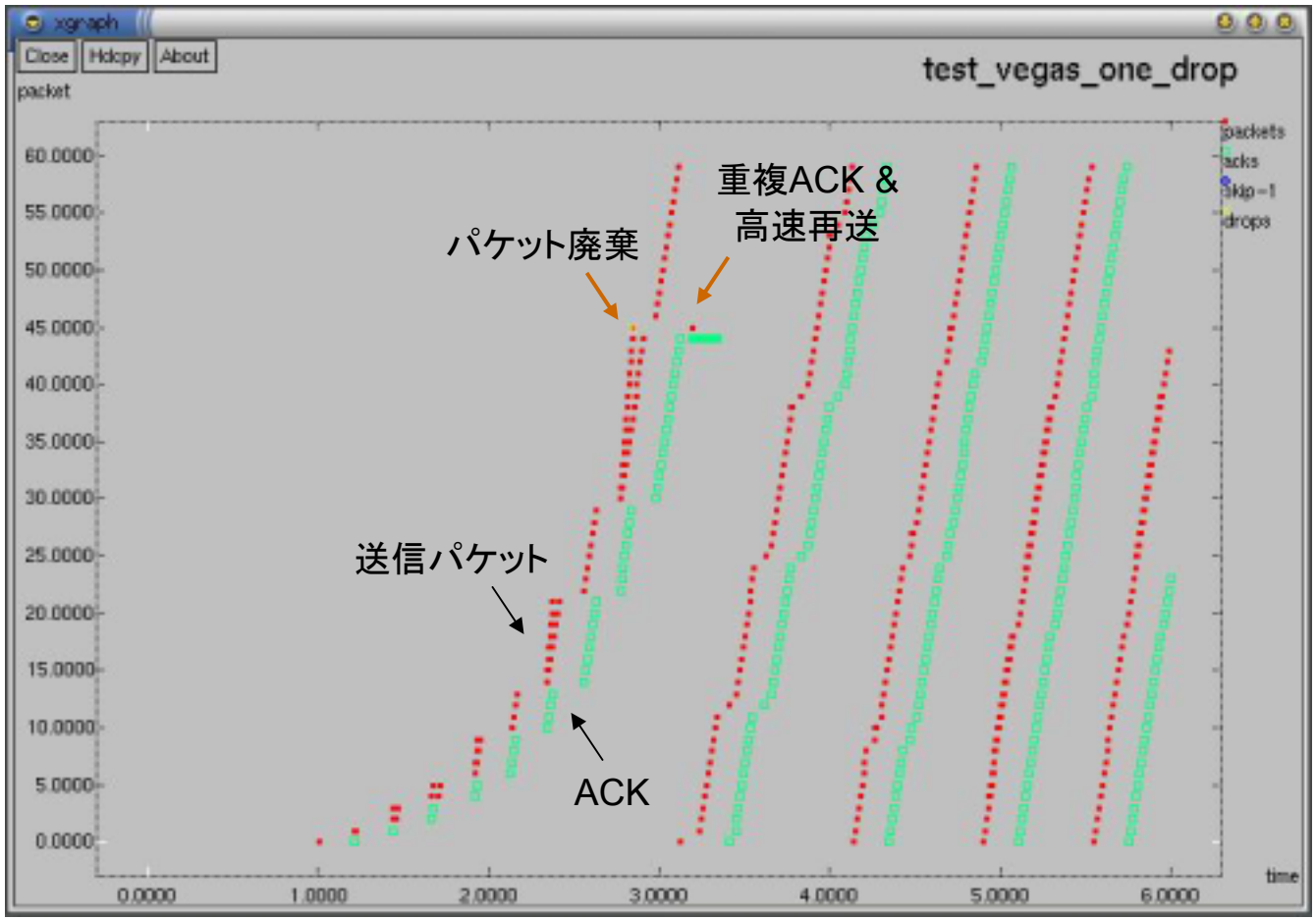
⇐ ネットワーク内バッファの使用量が一定になるように制御

一定時間毎 (≒RTT) に cwnd の値を更新

- **ラウンドトリップ遅延 (RTT) に基づくスロースタート**:

TCP Vegas (2)

パケット数

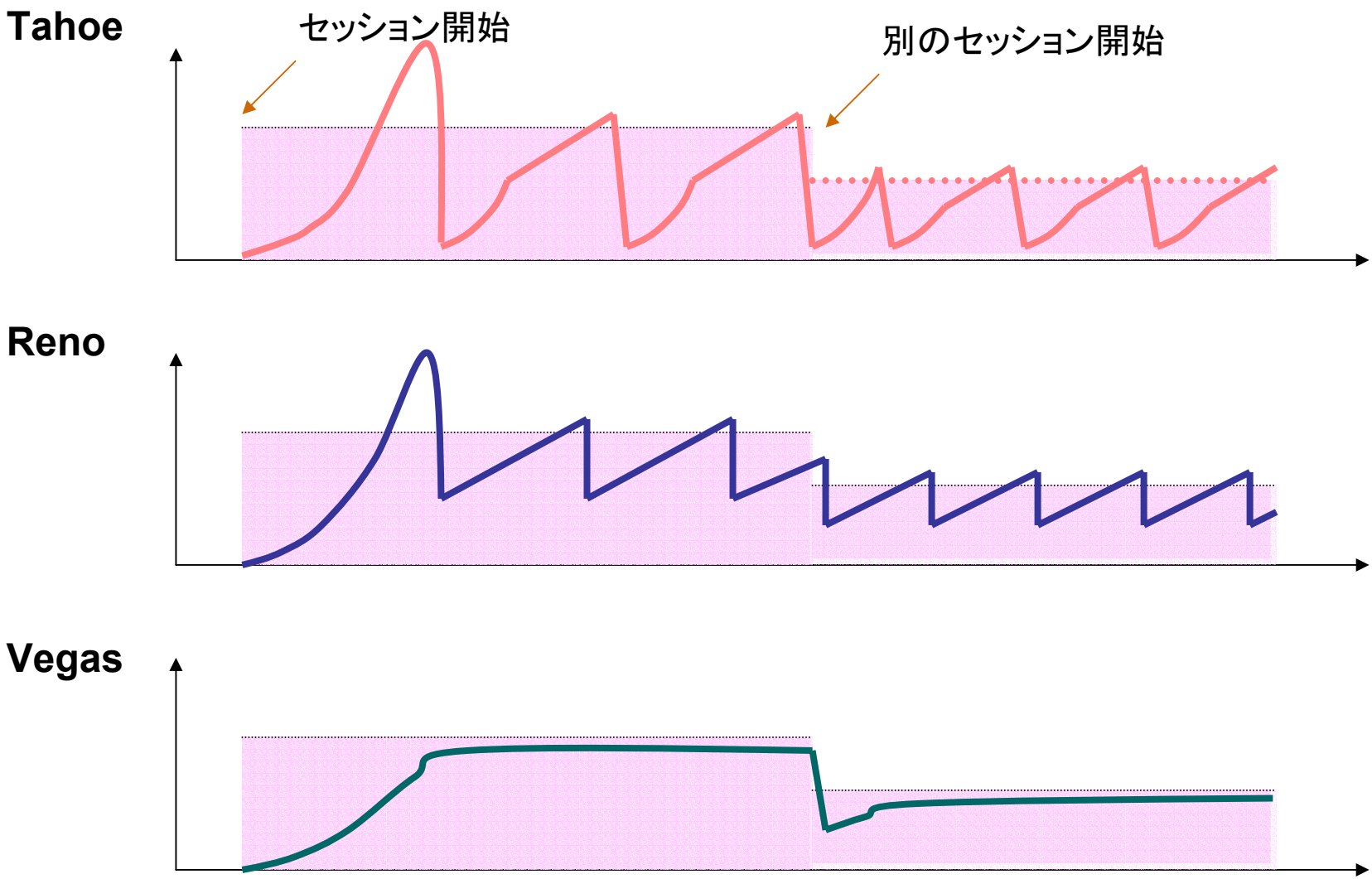


時間

スロースタート　　ふくそう回避

NS (Network Simulator) によるシミュレーション例

直感的な比較



TCPのまとめ

- **再送による信頼性のあるデータ転送**:

  反面、転送遅延は増加する。

  → 遅延に敏感なインターネット電話にとっては大きな欠点。遅延が気にならないオンデマンドのインターネット放送では許容範囲。

- **インテリジェントなふくそう制御**:

  加法増加 (additive increase) と乗法減少 (multiplicative decrease) を繰り返しながら、それなりのデータ転送速度を実現。

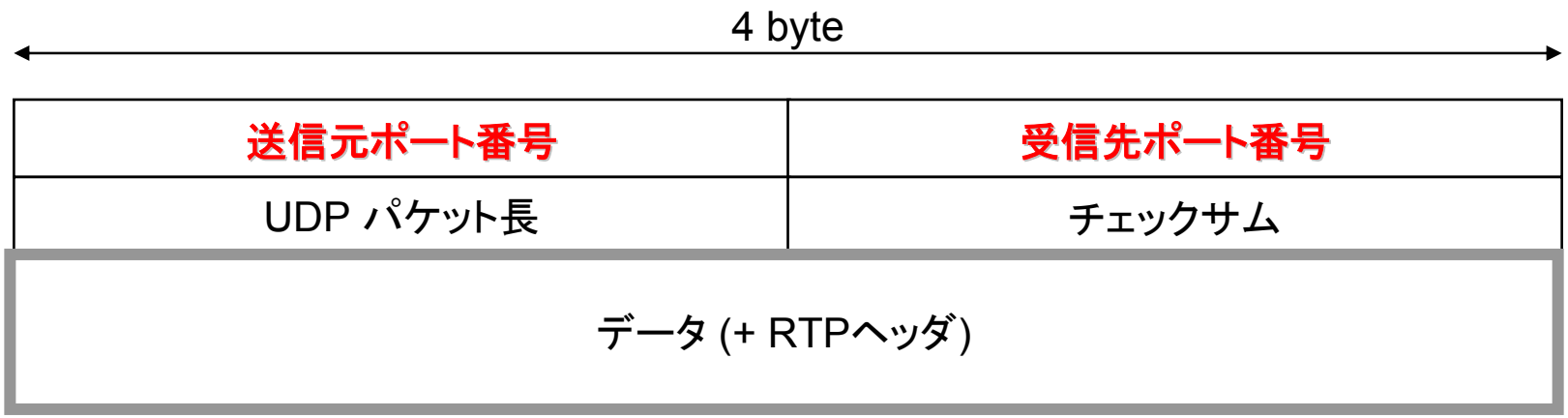
  → できるかぎり速く送りたいオンデマンドのインターネット放送では望ましい特徴。

(注) インターネット放送の二形態: ライブ放送とオンデマンド放送

UDP

User Datagram Protocol

UDP ヘッダ



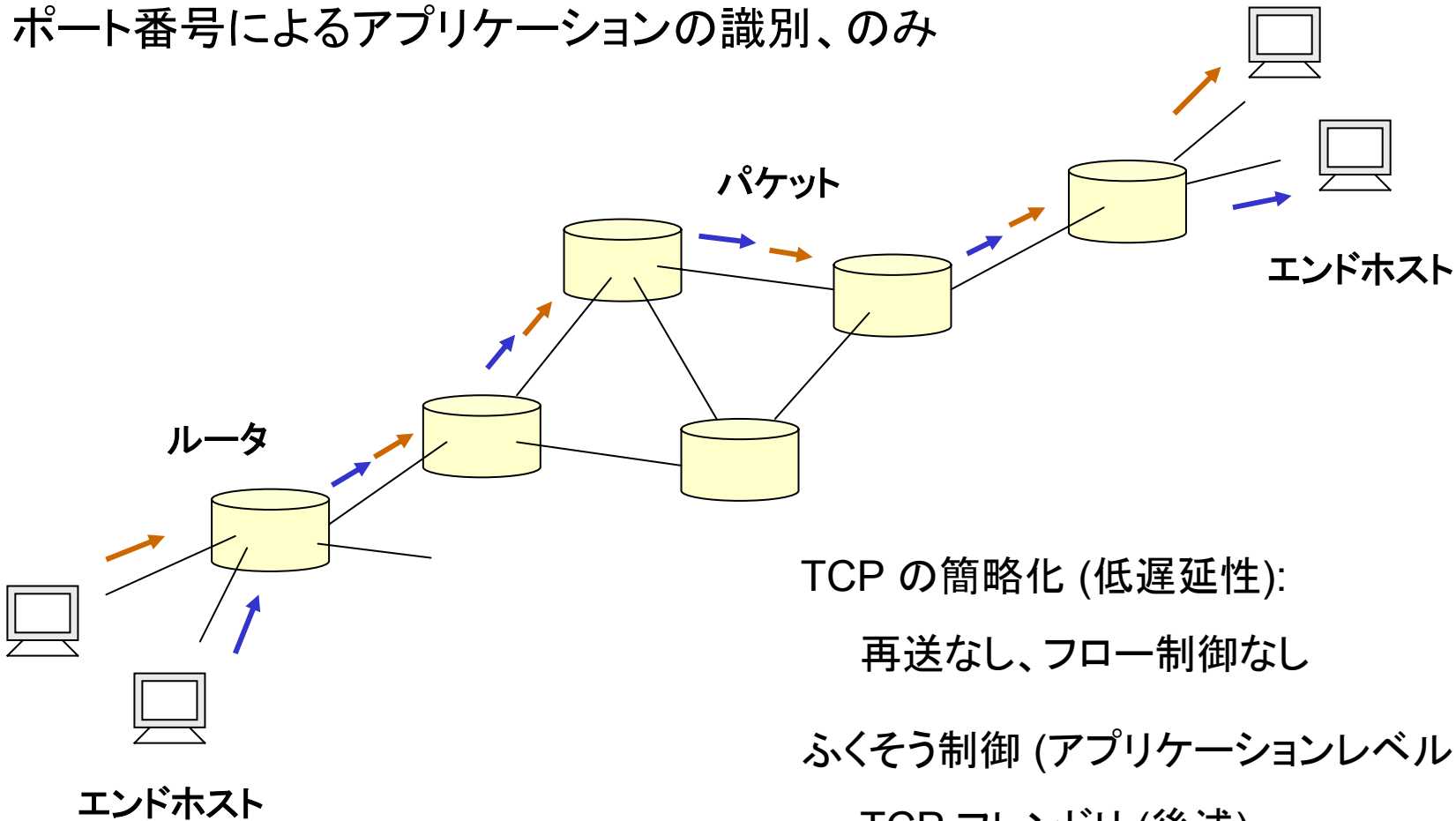
ポート番号：　　アプリケーションの識別

パケットの紛失、重複、順序逆転などについてまったく関知しない

→ アプリケーションで対処

UDP の機能

- ポート番号によるアプリケーションの識別、のみ



TCP の簡略化 (低遅延性):

再送なし、フロー制御なし

ふくそう制御 (アプリケーションレベル):

TCP フレンドリ (後述)

低遅延 (UDP) ⟺ 信頼性 (TCP)

UDPのまとめ

- **再送を行なわない信頼性のないデータ転送:**

  転送遅延は抑えられる。

  → 遅延に敏感なインターネット電話にとっては大きな利点。ACK 爆発が発生しないため、マルチキャストにも適している。

- **アプリケーションレベルの誤り制御とふくそう制御 (アダプテーション):**

  パケット廃棄やネットワークの輻輳に対して UDP は何も行なわないため、アプリケーションレベルで対処する必要がある。

  → 再同期 (パケット廃棄対策)、TCP フレンドリ (輻輳制御)、信頼性マルチキャスト (NACK あるいは FEC)、等

TCP と UDP：まとめ

インターネット電話	TCP	UDP
メディア情報	△	◎
制御情報	◎	△

インターネット放送	TCP	UDP
オンデマンド放送	○	○
ライブ放送	×	◎
マルチキャスト	×	◎ (クラスD)
制御情報	◎	○ (カルーセル)

低遅延性と信頼性のトレードオフ