

ISP間の経済的公平性を実現する パケットスケジューリング法

電子情報通信学総合大会

2026年3月12日

立命館大学 情報理工学部

佐野愛莉 上山憲昭

研究背景

■ 背景

- ベストエフォート型サービス: 品質保証がないため、混雑時に遅延やスループット低下が発生
- 特定のユーザやサービス間で通信品質の不公平が生じる

■ 現状の解決策

- SPQ(Strict Priority Queuing): パケットに付与された優先度に基づき、階層化された送出制御を行う
 - 最優先度のトラフィックが帯域を占有し続けた場合、低優先度のキューが全く処理されない
- WFQ(Weighted Fair Queuing): 各パケットの仮想終了時刻を計算し、早い順に送出
 - 計算負荷が高い

バックボーンネットワークではフローごとに制御できない

着目課題/研究の目的

■ 着目課題

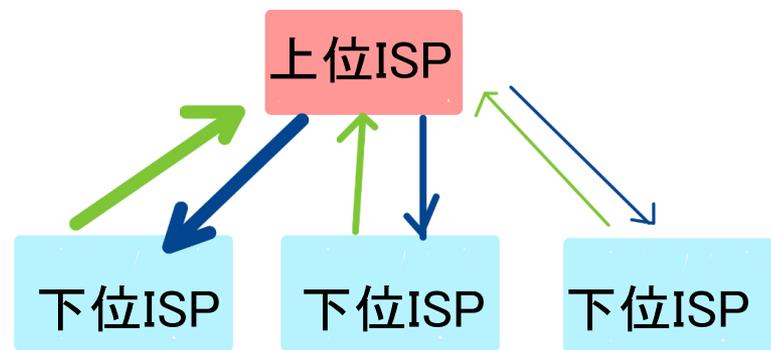
- バックボーンネットワークではフローごとのQoS制御がスケールしない
- 従来の平均値ベースで帯域割合を決定すると、送信トラフィック量に関係なく、同じ割合でトラフィック量を減らされる＝支払額が関係ない

■ 目的

ISPの公平性を実現する
バックボーンネットワークの
DWRRを用いた
帯域制御方式を提案

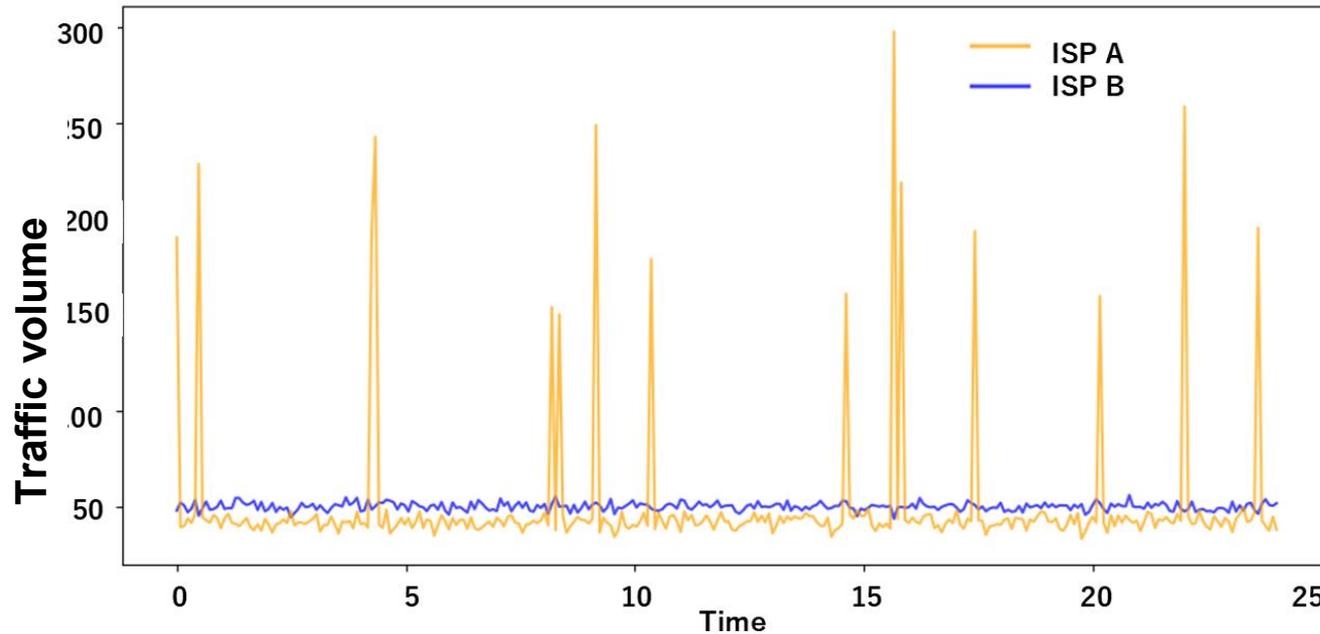
■ アプローチ

- **トランジット費**に基づくDWRR
の重み設定



→ トラジット費
→ 帯域

例) ISP間課金方式のために生じる不公平性



	ISP A (黄)	ISP B (青)
平均 値	10	10
95% 値	100	50

AもBも流したいトラフィック量は同じ。

従来：平均値ベースで帯域割合を決定

課題：ネットワークが輻輳した時、Aが課金額を高く支払っているにも関わらず同じ割合でトラフィック量を減らされる

＝支払い額が関係ない

DWRRの仕組み

- キューごとに異なる重みを設定可能にしたスケジューリングアルゴリズム
- 可変長パケットが存在する環境下でフロー間の帯域を重みに比例して正確に分配することを目的としている.
- メカニズム
 - Quantum (Q_i): 設定した重みに比例して各キューに与えられる送信権限
 - Deficit Counter (DC_i): 前のラウンドで使い切れなかった送信権限を次へ繰り越すための変数

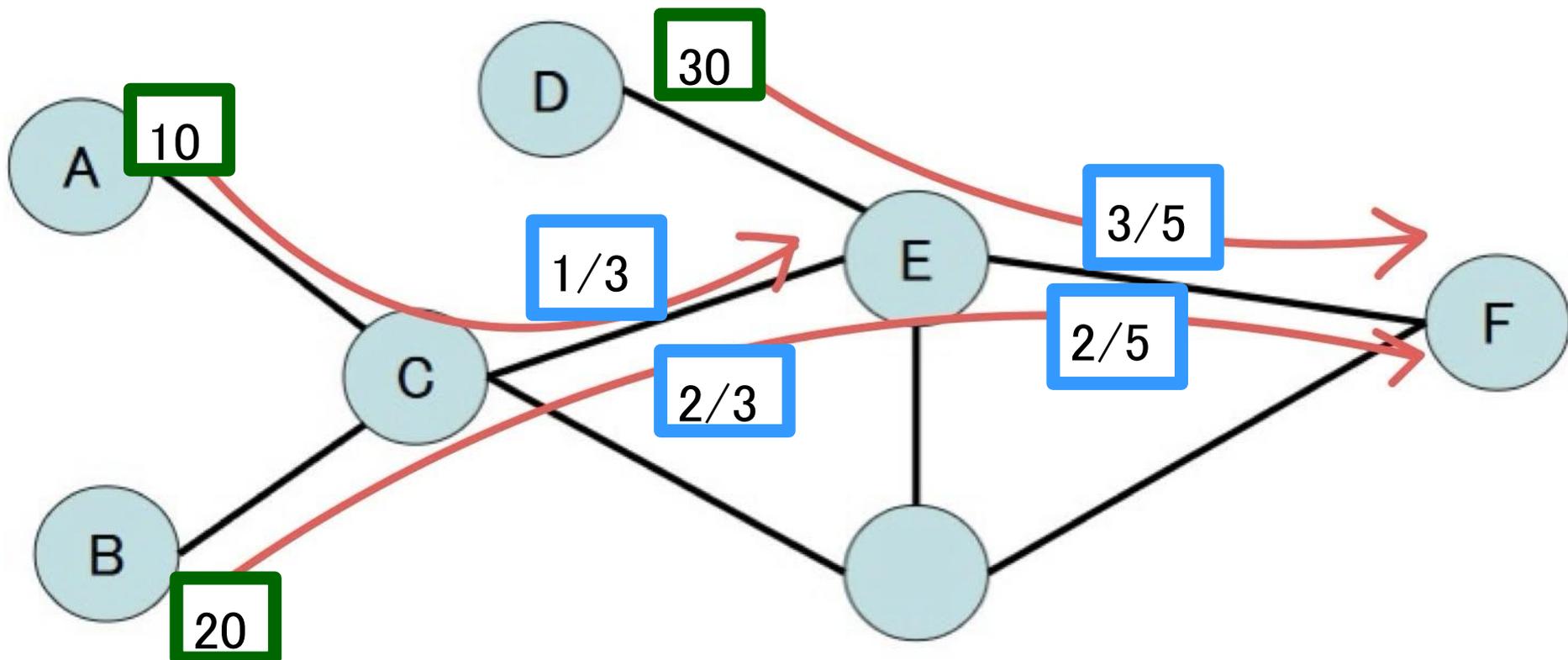
提案する帯域制御方式

- 重みの計算
 - 各ISPが支払うトランジット費に比例して決定
 - トランジット費は95%値を採用

$$R_{s,f,e} = \frac{(P_{95,s})^\alpha}{\sum_{k \in S_e} (P_{95,k})^\alpha}$$

S_e	リンクeを経由する発ノードの集合
$R_{s,f,e}$	s→f間のフローのリンクeにおける割当割合
$P_{95,s}$	送信ノードsの送信データ量の95%値
α	重み反映強度(支払額の優先度合)

重み割り当ての例



● :ISP □ : 95%値 □ : 重み → : 流れるデータ

C-EリンクでのAの重み: $10 / 10 + 20 = 1 / 3$

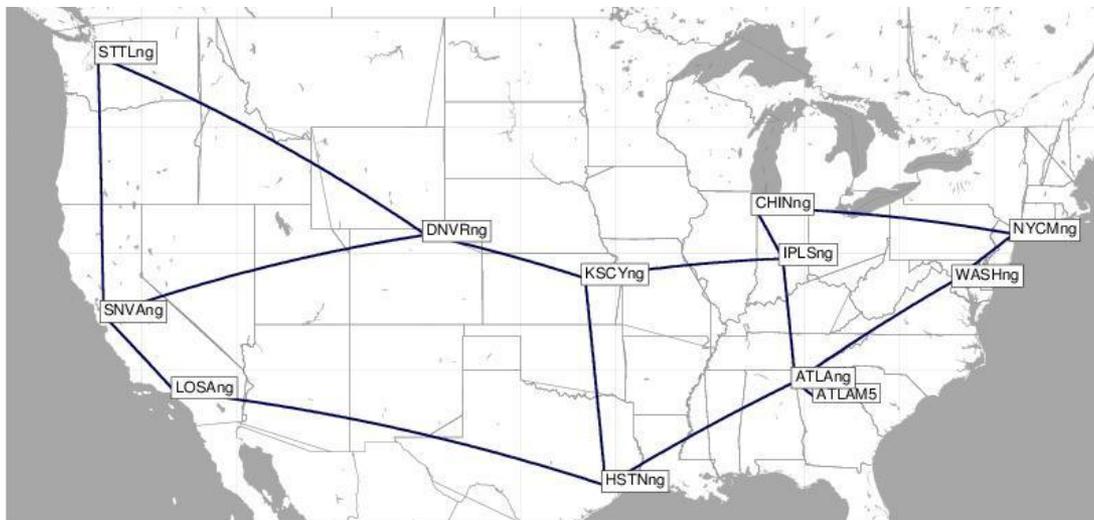
C-EリンクでのBの重み: $20 / 10 + 20 = 2 / 3$

E-FリンクでのAの重み: $30 / 30 + 20 = 3 / 5$

E-FリンクでのBの重み: $20 / 30 + 20 = 2 / 5$

評価条件

- トポロジ: Abilene Network (米国バックボーン、12ノード)。



- トラフィックデータ: ダウンロードデータを100倍にして使用。
- 重み反映に使うデマンド量の期間: 5月の1カ月間
- 送信データに使う期間: 翌月6月の1カ月間
- 評価指標:
 - スループット比率 = 実際の送信データ量 ÷ デマンド量
- 比較対象: 経済指標を考慮しない「基本方式」
- 変更して比較する条件: ①重み反映度 α ②輻輳強度 β

輻輳強度

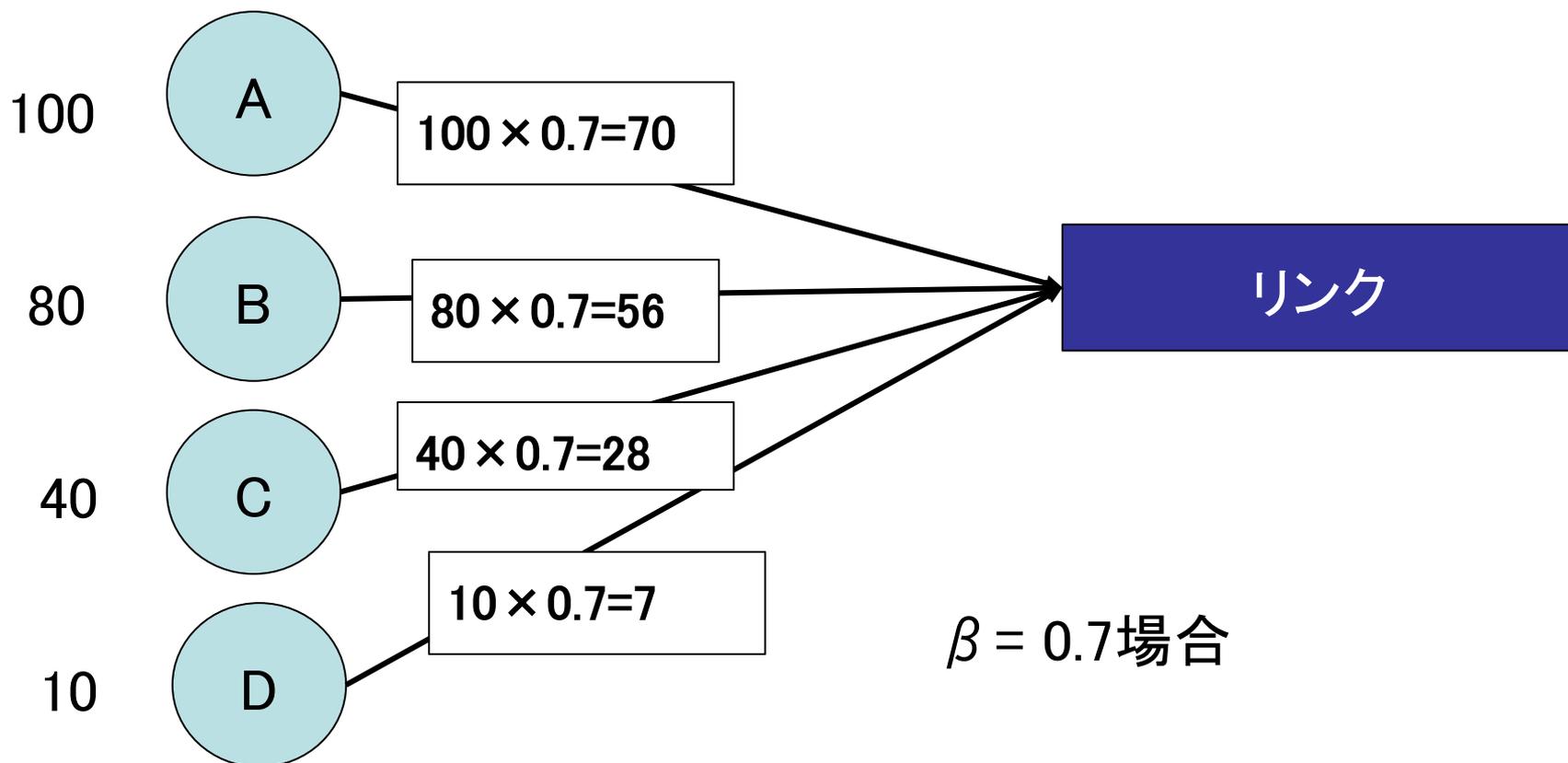
- 各リンクを通るデマンド量の合計に β をかけたもの
- β が1未満だと輻輳状態

$$T_e = \beta \sum_{k \in D_e} d_s$$

T_e	リンク e を経由する総トラヒック量
β	輻輳強度
D_e	リンク e を経由するデマンドの集合
d_s	リンク e を経由する発ノードsからのトラヒック量

基本方式

- 提案方式の比較対象
- 経済的指標を考慮しない
- 同一リンクを経由するフロー間で一律に帯域を配分

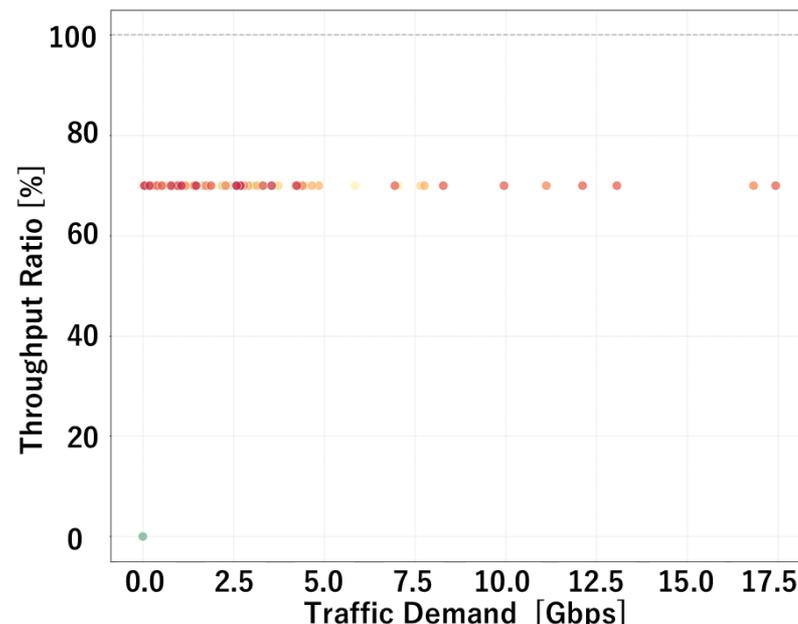
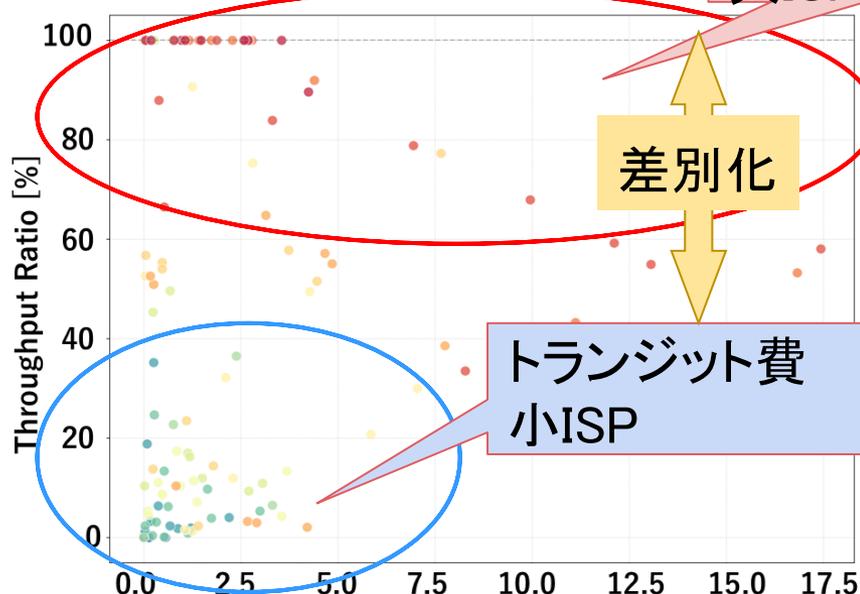


重み反映強度 α による影響 (最短経路)

提案方式 $\alpha=3$

トランジット費
大ISP

基本方式



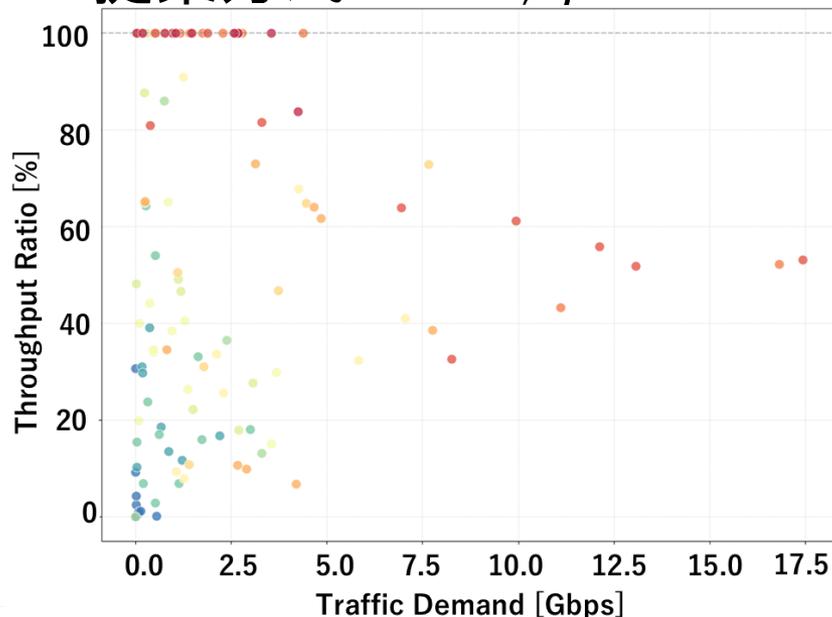
Sending Node (95% value) Traffic Demand [Gbps]

- ATLAM5 (8.7)
- HSTNng (105.9)
- KSCYng (128.0)
- SNVAng (170.5)
- STTLng (180.1)
- ATLang (222.1)
- DNVRng (332.8)
- IPLSng (411.8)
- NYCMng (653.8)
- LOSAng (669.4)
- WASHng (909.5)
- CHINng (2308.8)

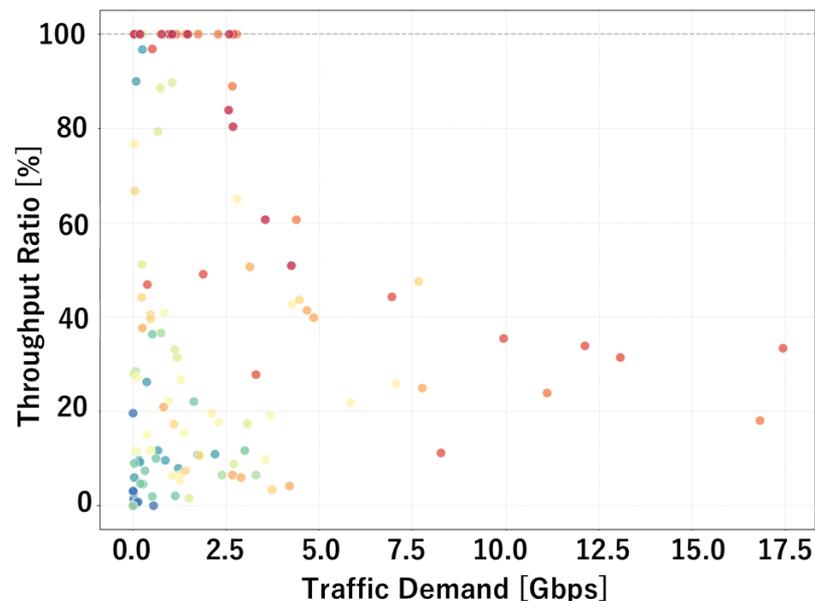
- 輻輳強度 β は0.7
- 横軸: 要求トラフィック量
- 縦軸: スループット比率 = 実際の送信データ量 ÷ デマンド量
- 基本方式: 支払額に応じたスループット比率 ✖
- 提案方式: 支払額に応じたスループット比率 ○

輻輳強度 β による影響 (最短経路)

提案方式 $\alpha=2, \beta=0.7$



提案方式 $\alpha=2, \beta=0.5$



Sending Node (95% value)

- ATLAM5 (8.7)
- HSTNng (105.9)
- KSCYng (128.0)
- SNVAng (170.5)
- STTLng (180.1)
- ATLang (222.1)
- DNVRng (332.8)
- IPLSng (411.8)
- NYCMng (653.8)
- LOSAng (669.4)
- WASHng (909.5)
- CHINng (2308.8)

■ 輻輳強度 β を0.5に変更

■ 横軸: 要求トラフィック

■ 縦軸: スループット比率 = 実際の送信データ量 ÷ デマンド量

■ 全体的に下がるものの、支払額に応じたスループット比率を達成

まとめ

- 支払額に応じた分配できてない
- 95%値にもとづいて重みを設定し帯域を分配
- 提案方式により、支払額に応じたスループットの差別化を実現