

ICN普及促進のためのナツシュ交渉解 を用いたISP間の調整金システム

立命館大学大学院 情報理工学研究科*
立命館大学 情報理工学部**
伊藤 証基* 上山 憲昭**

ICN

- インターネットの主流サービスはコンテンツ配信

 - 大容量，低遅延のコンテンツ需要の増加

- ネットワークはホスト名ベース

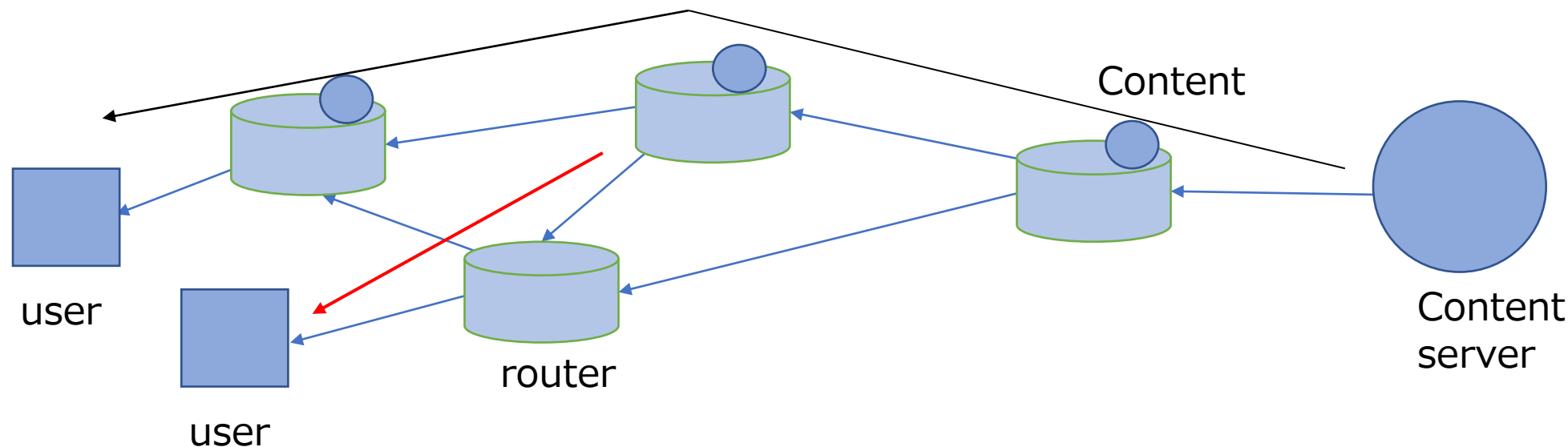
 - 名前解決のオーバーヘッドが発生

⇒

- ICN（ Information-Centric Networking ） が広く検討

 - コンテンツ名主体でルーティング

 - 各ルータがコンテンツをキャッシュ



ISP間の接続形態

■ISP(Internet Service Provider)

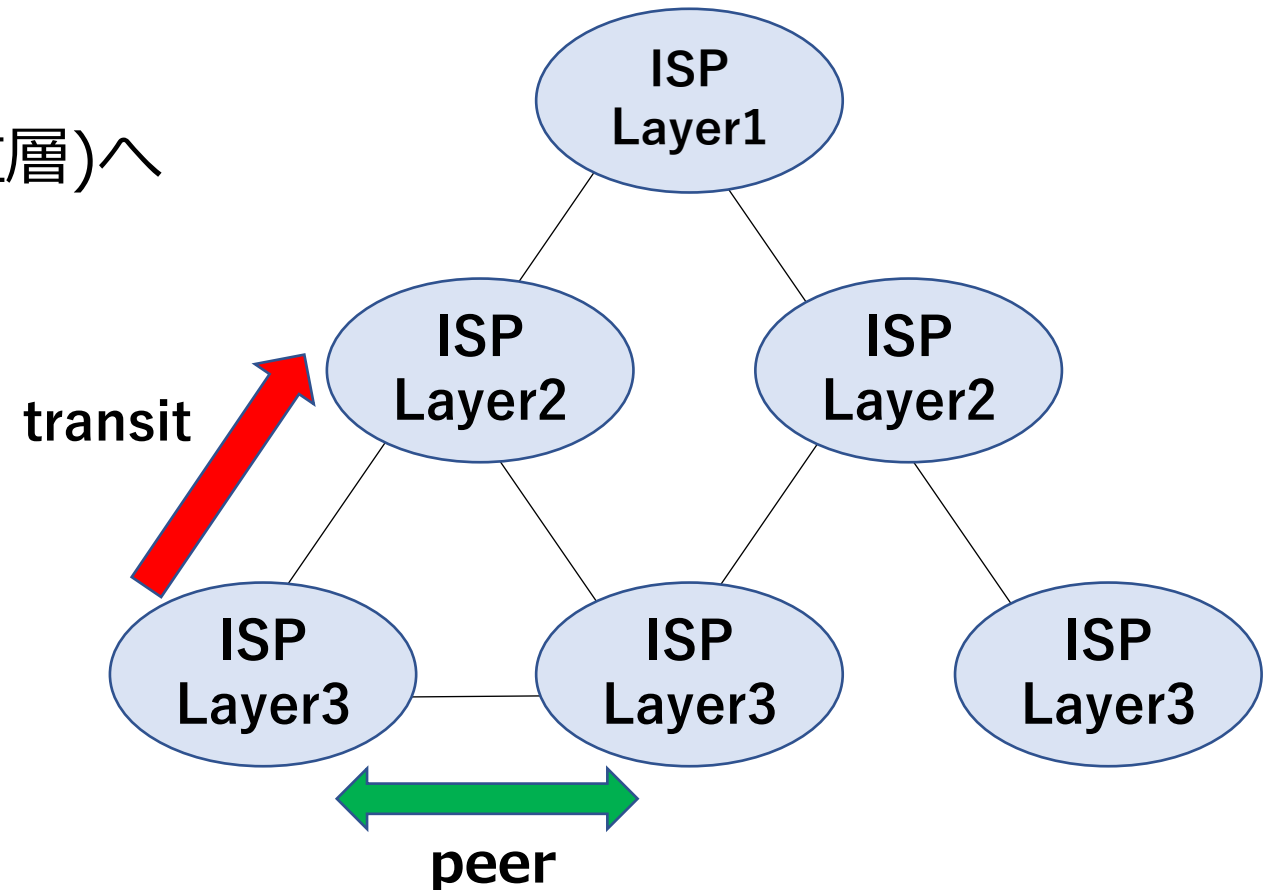
- ネットワークへの接続を提供する事業者
- インターネット全体への接続性を確保するため、相互に接続

■トランジット接続

- 顧客(下位層)からプロバイダ(上位層)へ
- トラフィック量に応じて支払い

■ピアリング接続

- 同階層で料金の支払い無し



ISP間の接続形態

■ISP (Internet Service Provider)

- ネットワークへの接続を提供する事業者
- インターネット全体への接続性を確保するため、相互に接続

■トランジット接続

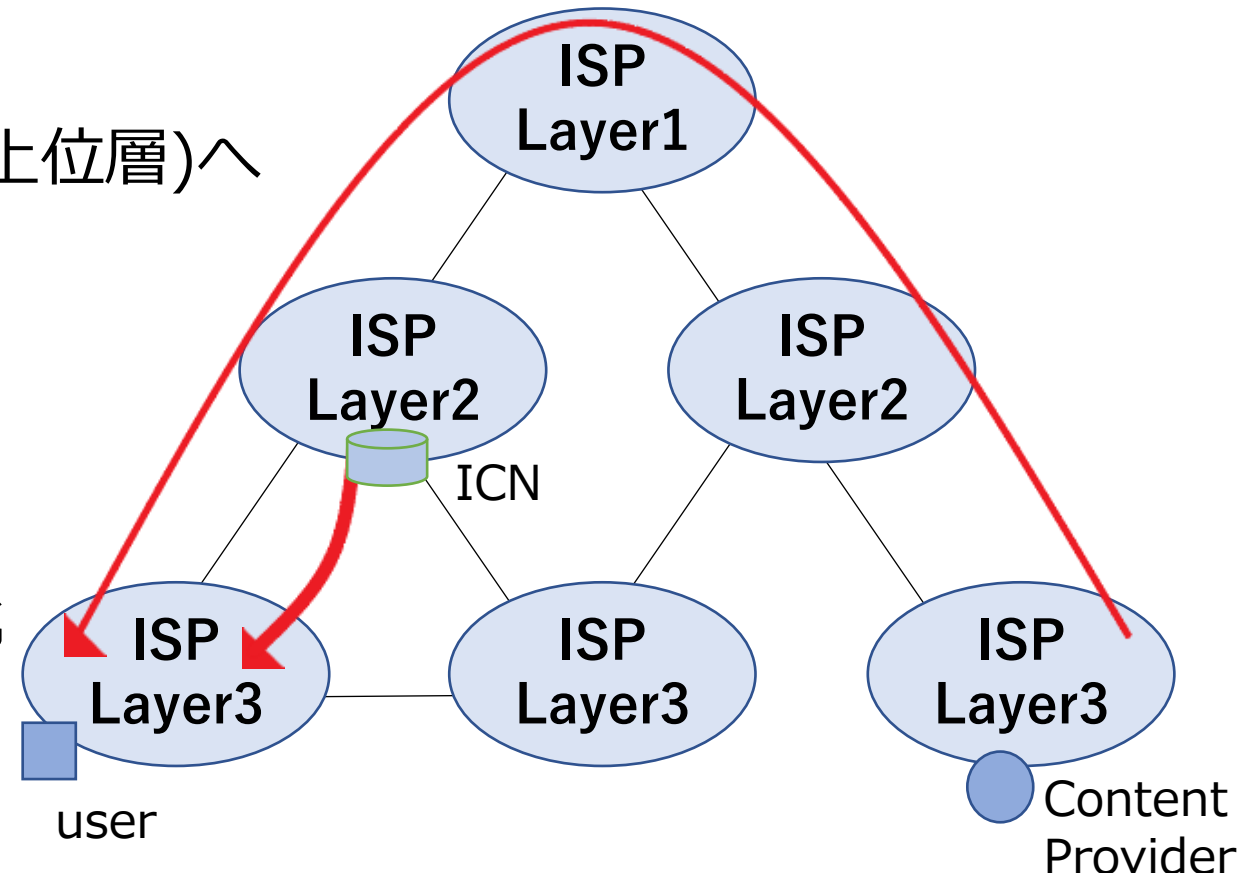
- カスタマー(下位層)からプロバイダ(上位層)へ
- トラフィック量に応じて支払い

■ピアリング接続

- 同階層で料金の支払い無し

■ICN導入でISP間のトラフィックが変化

- ICNの導入はISPの収益に影響

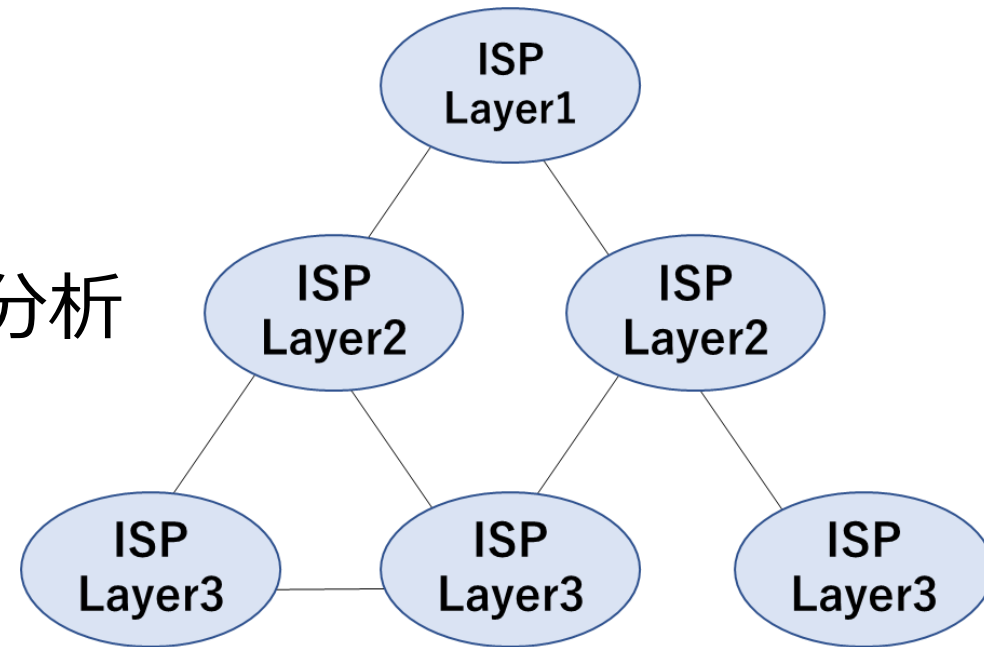


研究の背景

- ICN（ Information-Centric Networking ）が広く検討
 - コンテンツ名主体でルーティング
 - 各ルータがコンテンツをキャッシュ
- ICN導入で各ISPの収益が変動
- ICN導入判断は各ISPが独立して判断
 - 利益の減少する見込みのあるISPはICN導入しない
- ICN普及促進の方法を検討する必要あり

これまでの研究

- 3階層ツリー型トポロジを想定
- ICN普及時の各ISPの利益に与える影響の分析



- 各ISPの収益に与える影響

レイヤ1	レイヤ2	レイヤ3
減少	増加	増加

- ICN普及促進にはインセンティブが必要

*N. Kamiyama, Analyzing impact of introducing CCN on profit of ISPs,
IEEE Trans. Netw. Service Manag., vol. 12, no. 2, pp. 176-187, Jun. 2015.

**辻香菜, 上山憲昭, “ICNの普及程度がISPの利益に与える影響の分析”, 信学会2020ソ大会, B-11-9

本研究の目的

■ICN普及のためのインセンティブ

- ナッシュ交渉解を用いた調整金

■ICNの普及可能性を分析

- ICN導入によって変動する収益

- トランジット費
- ユーザからのアクセス費

- 階層的なISP間のトポロジを対象に，新たなICNの導入が各ISPの収益に与える影響を分析

ネットワークのモデル化

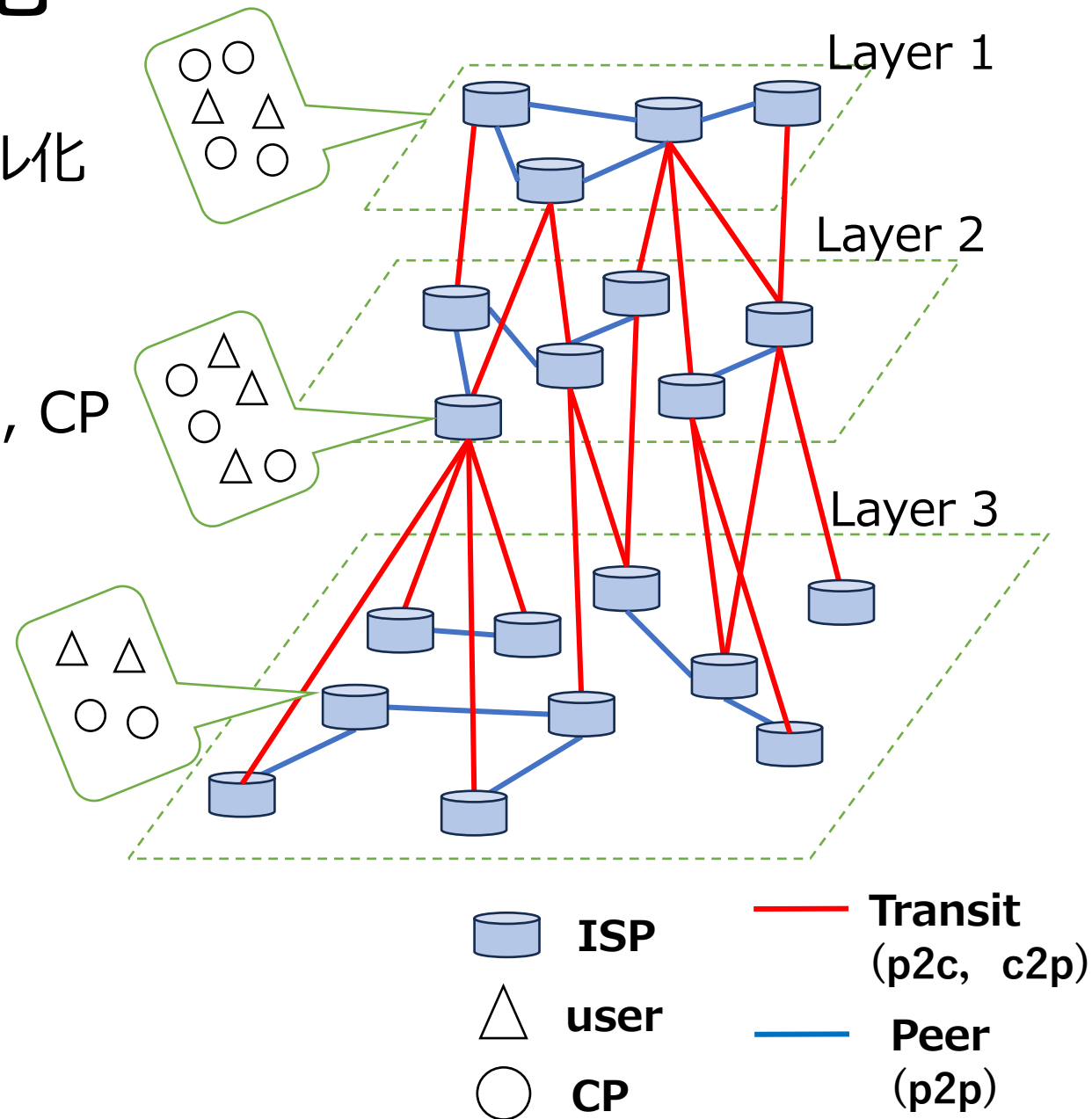
■ ISP間トポロジ

- CAIDAの公開 2 データを使用しモデル化

- 3階層を想定
- ISP間のリンクは均一に確率で存在
- 各レイヤのISPは比率で均一にユーザ, CPを収容

■ リンク属性

- p2c: 上位レイヤISPから見たときのトランジット接続リンク
- c2p: 下位レイヤISPから見たときのトランジット接続リンク
- p2p: ピアリング接続リンク



ネットワークのモデル化

■ISP数

レイヤ1	レイヤ2	レイヤ3
49	2123	2565

■各ISP間の平均リンク数

レイヤ	p2c	c2p	p2p
1	440.41	0.00	3.27
2	10.14	10.16	5.72
3	0.00	8.40	0.46

■収容ユーザ数(CP)比率

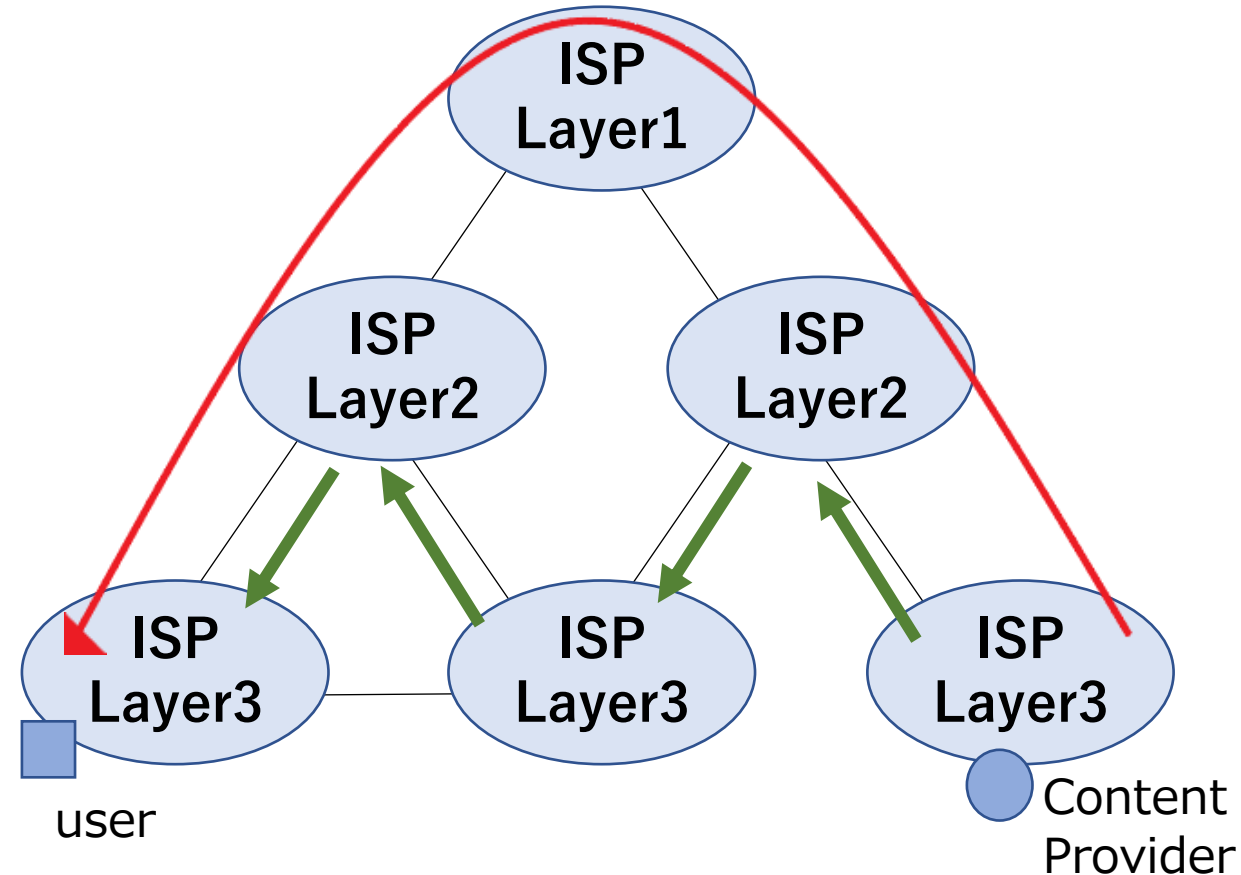
レイヤ1	レイヤ2	レイヤ3
0.460	0.426	0.114

ISP間のルーティング

- コンテンツ要求の転送に複数の候補がある
- ISPはトランジット費を考慮して、自律的に選択
 - 以下の優先順位でリンクを選択
$$p2c > p2p > c2p$$

- Valley-free ルーティング

- 赤のルートを選択する
- 緑のルートは選択しない



ISPのキャッシュ設計

- プロバイダ側(上位レイヤ)からのコンテンツ
 - キャッシュ → 支払うトランジット費の減少(=キャッシュする)
- カスタマー側(下位レイヤ)からのコンテンツ
 - キャッシュ → 受け取るトランジット費の減少(=キャッシュしない)
- ピア接続(同レイヤ)からのコンテンツ
 - キャッシュ → トランジット費は変化なし
 - キャッシュ資源の無駄な使用(=キャッシュしない)
- ICN導入済みISP間ではキャッシュの重複を回避

ISPの収益

■収益(R) = トランジット費(T) + アクセス費(A)

■トランジット費

- ISP間でトラフィック量に応じて授受
 - キャッシュにより変化

■アクセス費

- 自ISP収容ユーザからのアクセス費
 - 配信遅延時間低減によるユーザのエンゲージメント向上

■ユーザ支払い感応度(S)

- 配信遅延時間 = 経路ホップ数
- 1ホップ減少でユーザからの収益は S %上昇

数値条件

- もともとの各ユーザからのアクセス費： 50USD
- ユーザ総数： 10^9
- コンテンツ数： 10^6
- コンテンツ要求比率： パラメータ 1 のZipf分布に従う
- ISPのキャッシュサイズ： 100, 200, 400
(上位レイヤがより大きい)

結果：感応度と収益変化

■ レイヤ 1 ISPのICN普及率 $0 \rightarrow 1$

■ ユーザ支払いの感応度 S を変更

■ 1ホップ減少でユーザからの収益は $S\%$ 上昇

■ (a) トランジット費の変化量 (ΔT)

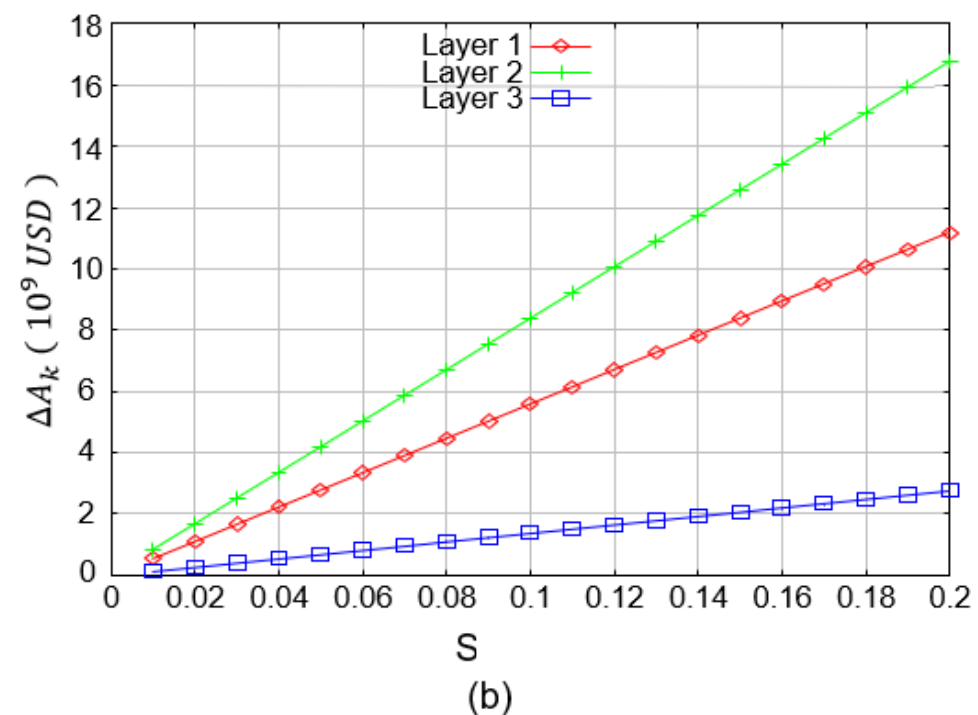
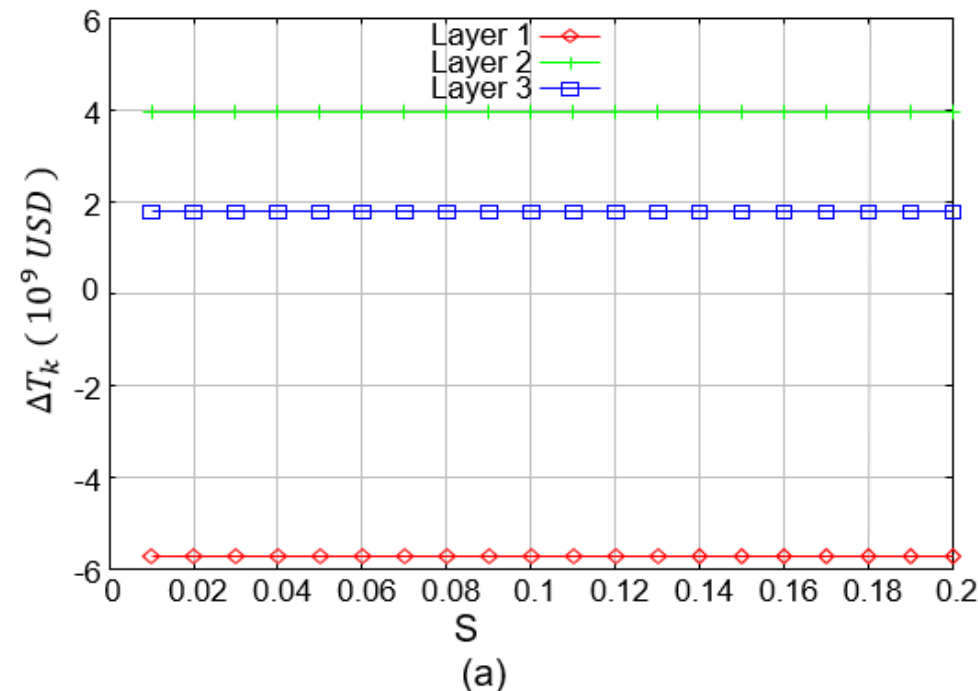
■ ΔT は一定

■ レイヤ 1 は減少、レイヤ 2, 3 は増加

■ (b) アクセス費の変化量 (ΔA)

■ ΔA は単調増加

■ 全レイヤ増加



結果：感応度と収益変化

■各ISPの収益変化量 $\Delta R (= \Delta T + \Delta A)$

■ $S \ll$ 小さいとき

■ $\Delta R_1 < 0, \Delta R_{2,3} > 0$

■従来通り

■ $S \gg$ 大きいとき

■ $\Delta R_1 > 0$

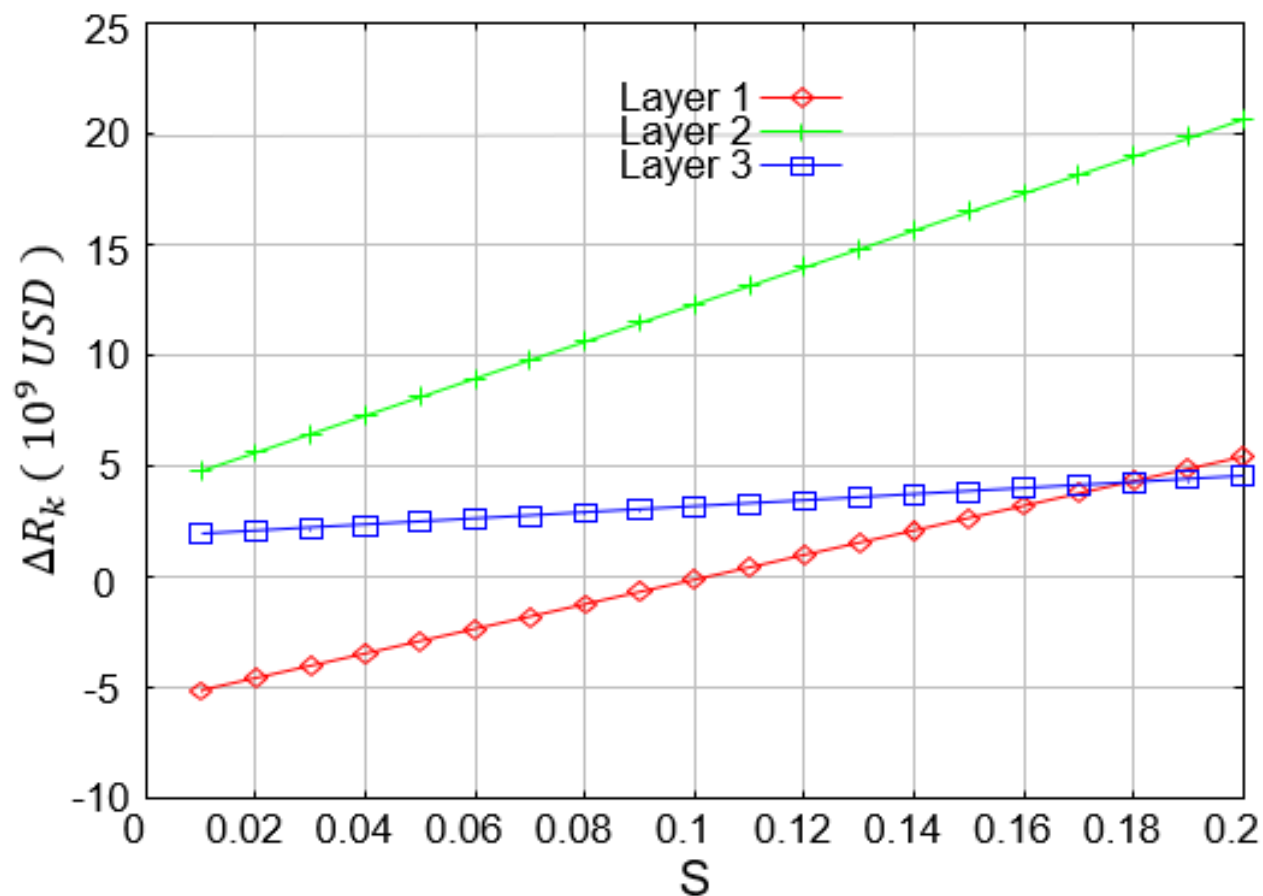
■レイヤ1は自然にICNを導入

■ ΔR_1 が負の値

■レイヤ1はICNを導入しない

■インセンティブが必要である

■ISP間での調整金の収受



ナッシュ交渉解

- 両者の効用の積を最大化する合意案
 - 協力して得た成果の合理的な分配法

- トランジット費：一方の利益が一方の損失になるゼロサム

- アクセス費：市場への新たな資金の流入

⇒

- 協力(=ICN導入)でより大きな利益
 - ナッシュ交渉解を利用

- 効用(=収益の変化量)の積を最大化する点を求め調整金を導出

結果：ICN普及率と調整金

■調整金 $x_{k,j}$ ：レイヤj ISPからレイヤk ISPへ渡す額の総計 (利益の折半)

■感応度S：9%

■レイヤ1 ISPのICN普及率 P_1 ：0 → 1

■レイヤ2,3のICN普及率 $P_2 = P_3$ ：0.0, 0.5, 1.0

$$x_{k,j} = \frac{\Delta R_j - \Delta R_k}{2}$$

■ P_1 の増加

■ $x_{1,2}$ は増加

■レイヤ2の収益増加効果UP

■レイヤ2の支払うトランジット費減少

■レイヤ2の受け取るアクセス費増加

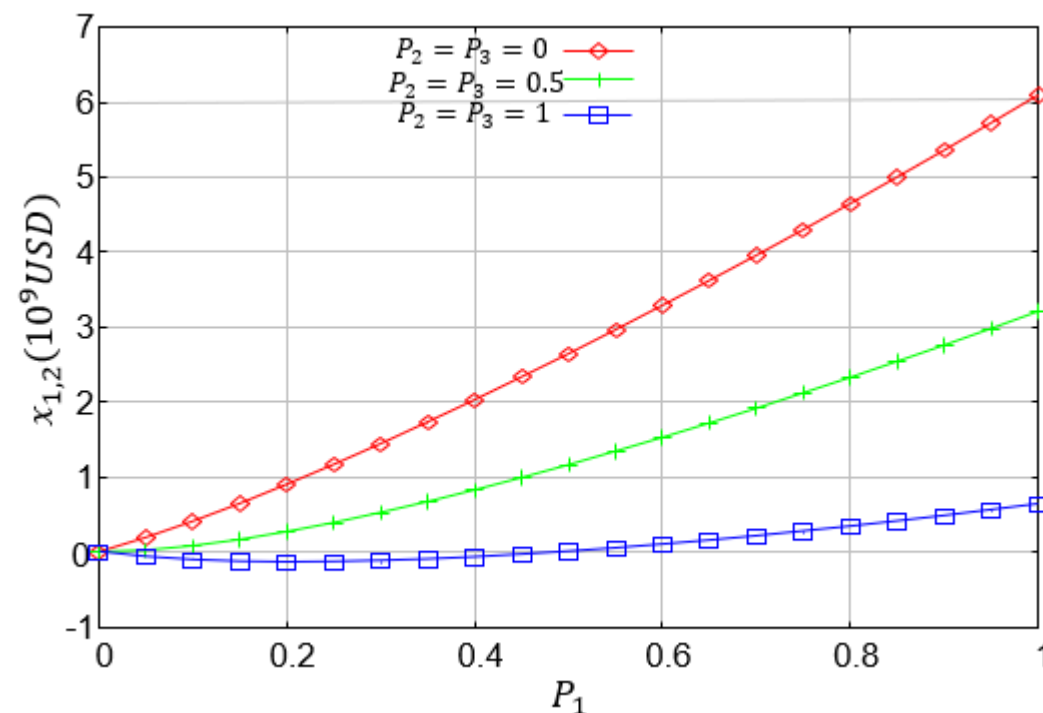
■ P_2, P_3 の増加

■ $x_{1,2}$ は減少

■ICN導入の他レイヤに対する影響が減少

■すでに下位レイヤでキャッシュの場合など

■ $x_{1,3}$ についても同様の傾向



結果：ICN普及率と調整金

■ 調整金 $x_{k,j}$ ：レイヤj ISPからレイヤk ISPへ渡す額の総計

■ 感応度S：9%

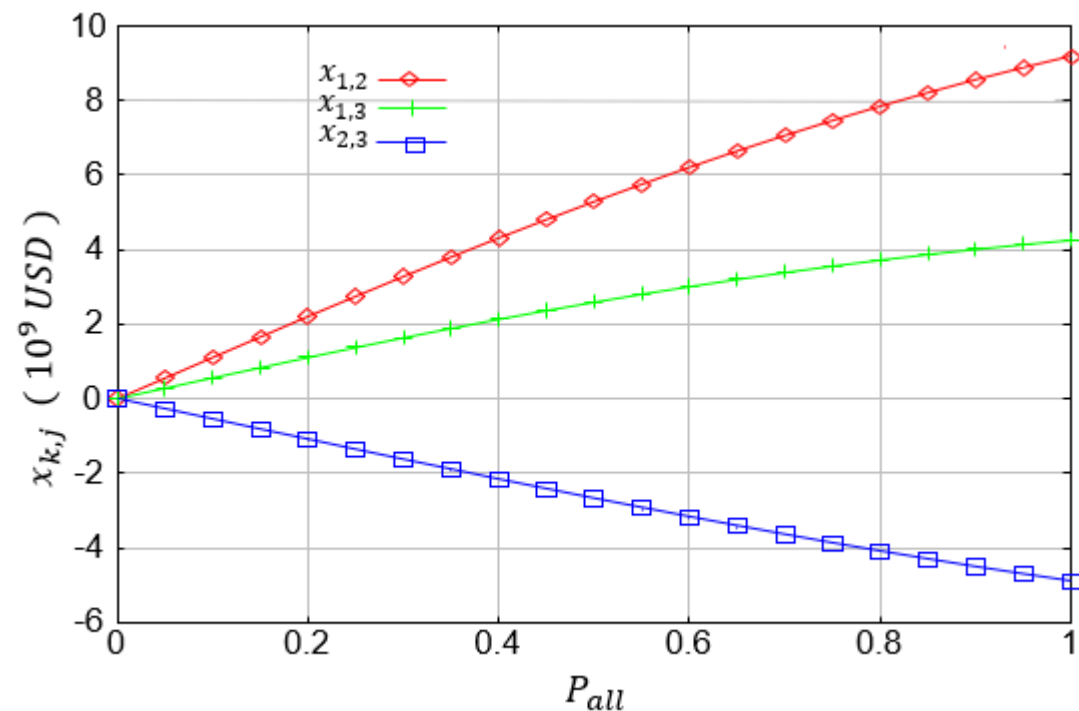
■ 全レイヤISPのICN普及率 P_{all} ：0 → 1

■ P_{all} の増加

■ $x_{1,2}$, $x_{1,3}$ は正の値で増加

■ $x_{2,3}$ は負の値で減少

■ レイヤ2からレイヤ3へ調整金を渡す



結果：調整金後の収益変化

■ 感応度S：9%

■ 全レイヤISPのICN普及率 P_{all} ：0 → 1

■ 調整金収受後のレイヤkの収益変化量 $\Delta R'_k$

■ (a)一括

■ 常に $\Delta R'_k > 0$

■ 全レイヤでICNの普及可能

■ $\Delta R'_2$ が極端に小さい

■ レイヤ2はレイヤ1,3どちらにも支払う関係

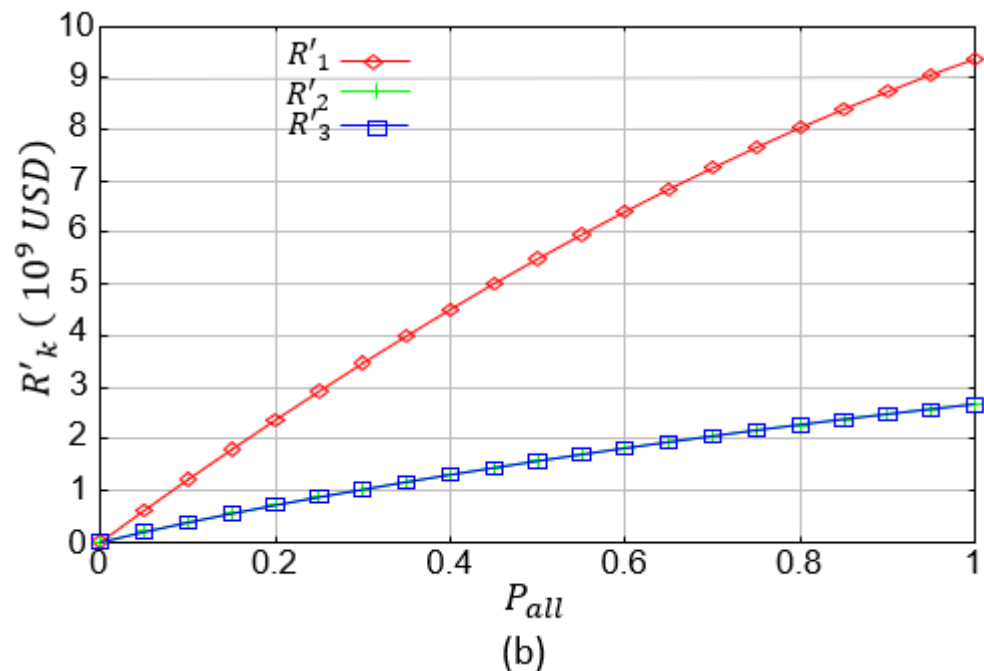
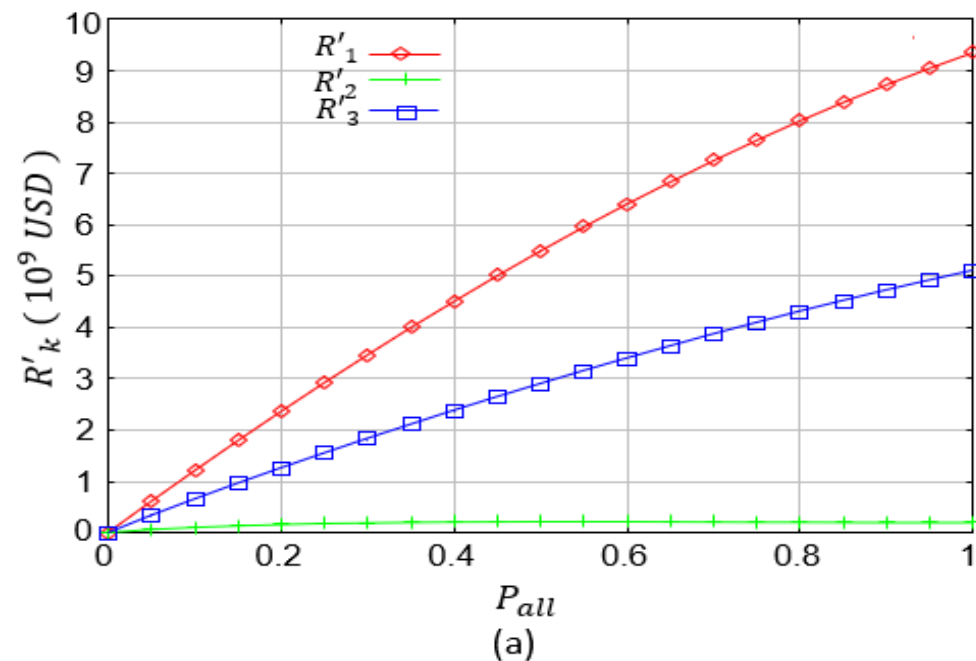
■ (b) $x_{1,2}$, $x_{1,3}$ 収受後を基準に $x_{2,3}$ を導出

■ $\Delta R'_2$ が増加、 $\Delta R'_3$ が減少

■ 公平性の向上

■ 交渉順でも有利不利がある

■ なんらかの交渉力を考慮する必要



まとめ

■ICN導入とISPの収益の分析

■ユーザ支払いの感応度

- 高いとレイヤ 1 は自然にICNを導入

■ナッシュ交渉解を用いた調整金の導出

■調整金 x

- その他レイヤのICN普及率も関係

■調整金収受後の収益変化量

- 全レイヤで普及可能
- 交渉順でも有利不利がある

■今後の方針

- 何らかの形で交渉力として定量化、シミュレーション
- 実際のトポロジを対象としての評価