

ICN普及促進のための協力ゲームに基づくISP間の調整金システム

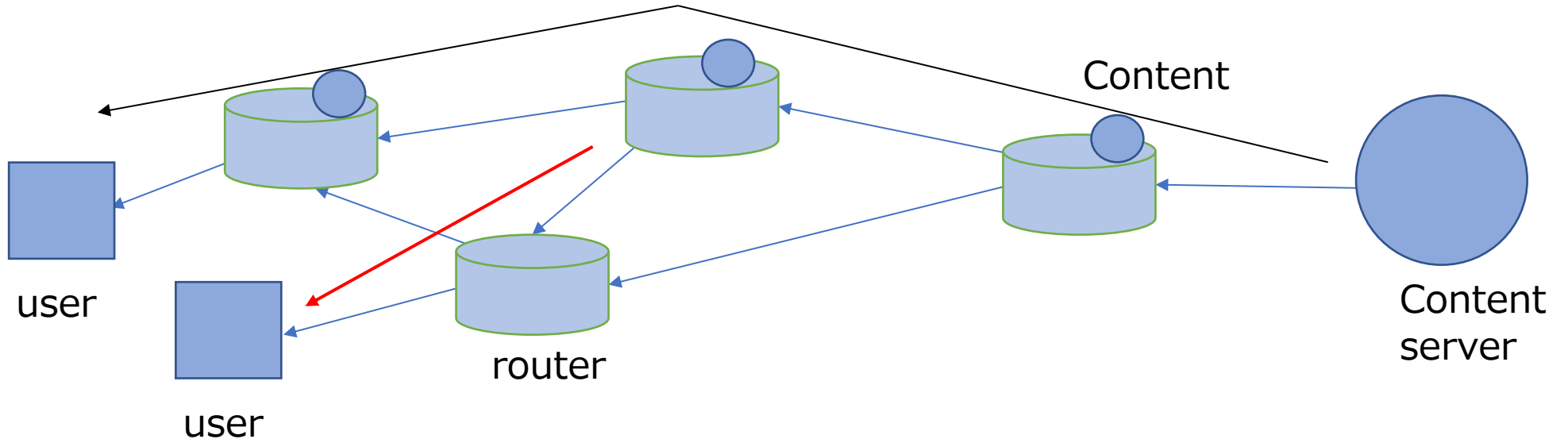
立命館大学大学院 情報理工学研究科*
立命館大学 情報理工学部**
伊藤 証基* 上山 憲昭**

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)

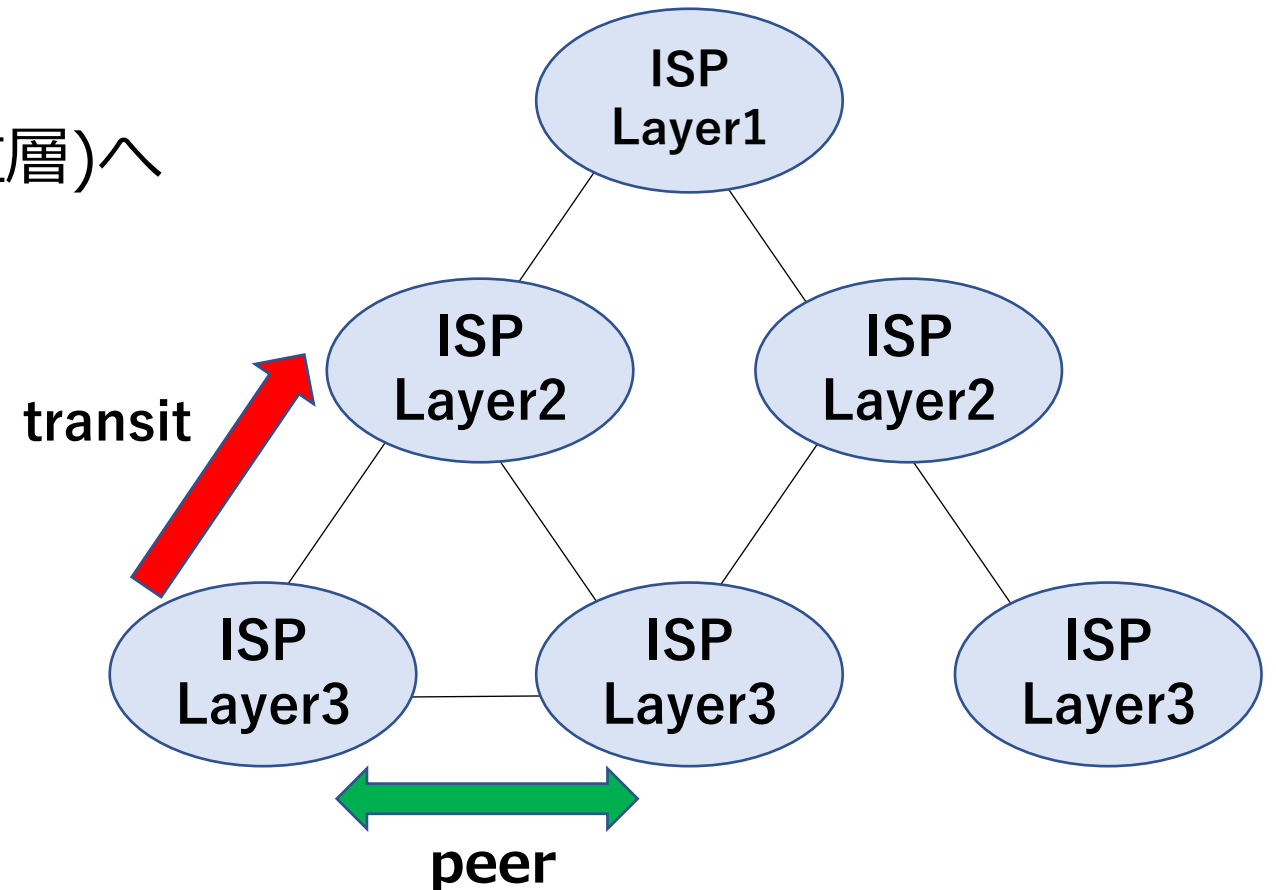
- ネットワークへの接続を提供する事業者
- インターネット全体への接続性を確保するため、相互に接続

■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

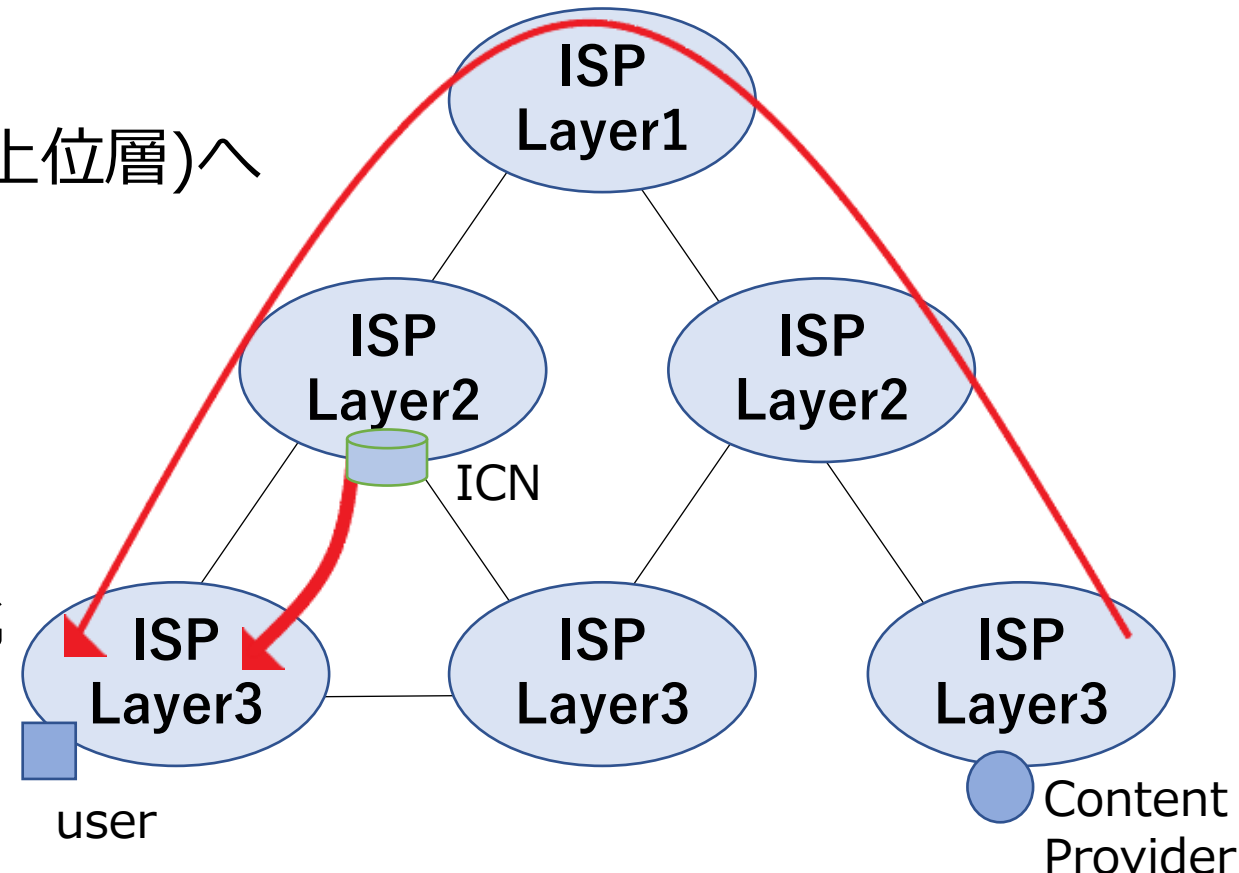
- カスタマー(下位層)からプロバイダ(上位層)へ
- トラフィック量に応じて支払い

■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

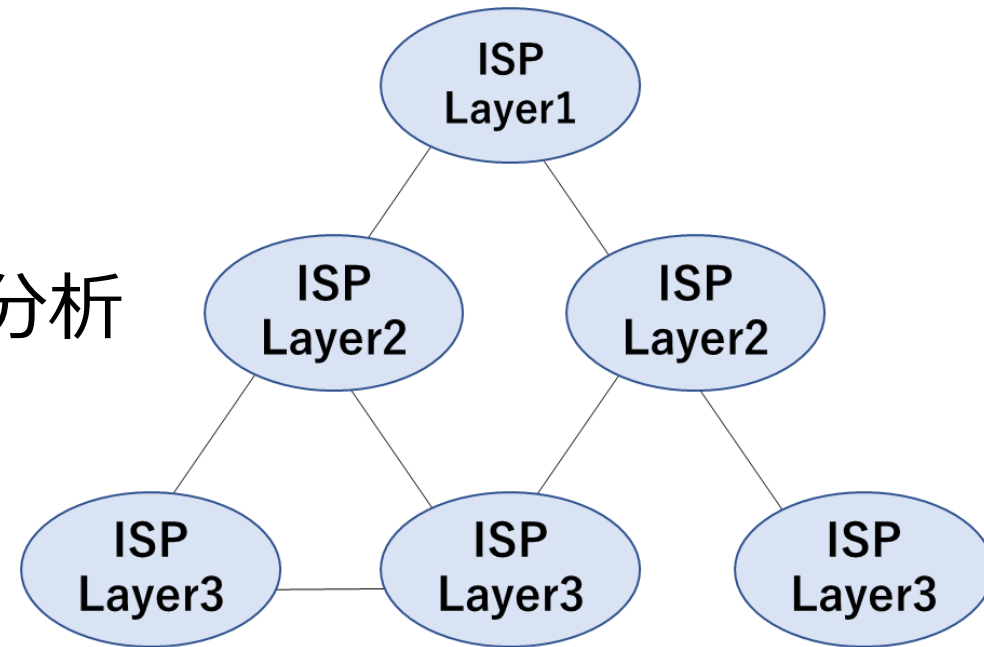


研究の背景

- 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

[1] 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.

[2] 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, 2020 年 9 月

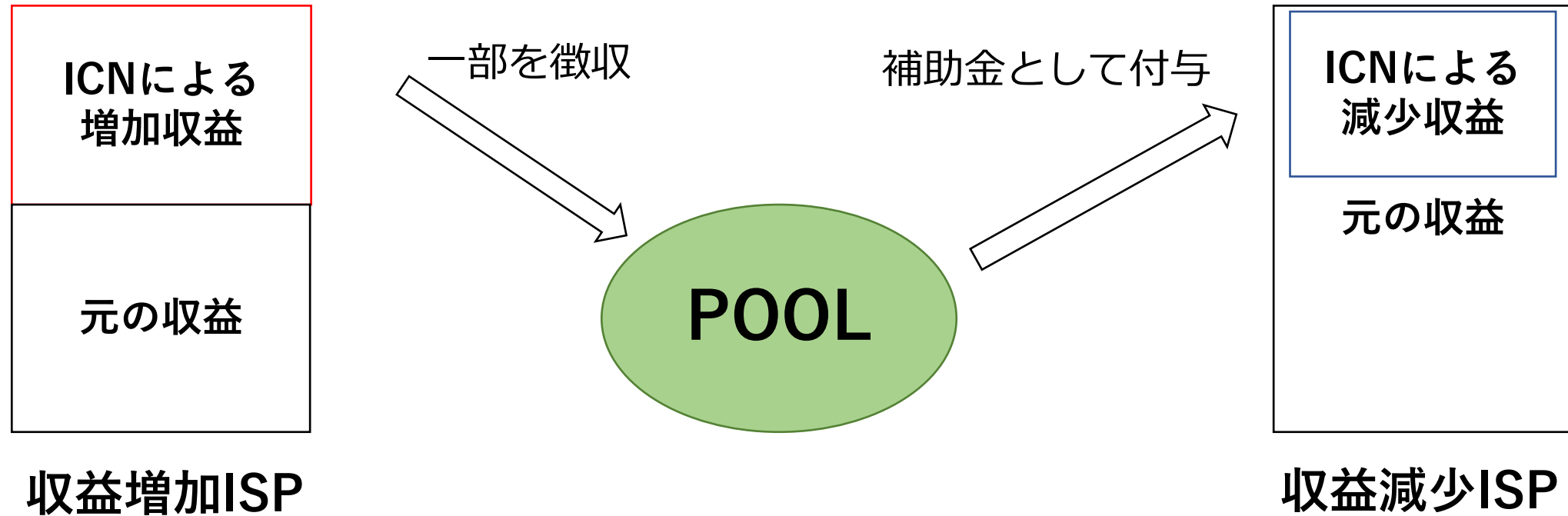
[3] 伊藤 証基, 上山憲昭, “ICN 普及促進のためのナッシュ交渉解を用いた ISP 間の調整金システム”, IA 研究会, IA2023-79, 2024 年 3 月

本研究の目的

- ICN普及のためのインセンティブ付与方法の検討
 - 協力ゲームとしてみたて、収益の分配方法とその特徴の分析
- これまでに、2者間でのナッシュ交渉解を分析
 - 伊藤 枉基, 上山 憲昭, “ICN普及促進のためのナッシュ交渉解を用いたISP間の調整金システム”, 電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ (IA) 研究会, IA2023-79, 沖縄, 2024年3月
- 新たに3者間でのナッシュ交渉解とシャープレイ値による分配を検討

調整金

- レイヤ1が収益減少、レイヤ2,3は収益増加
 - レイヤ1は収益減少によりICNを導入しない
- 収益の増加するレイヤ2,3から一部徴収し、レイヤ1に配布



■ ナッシュ交渉解とシャーププレイ値を用い、徴収、付与額を導出

ネットワークのモデル化

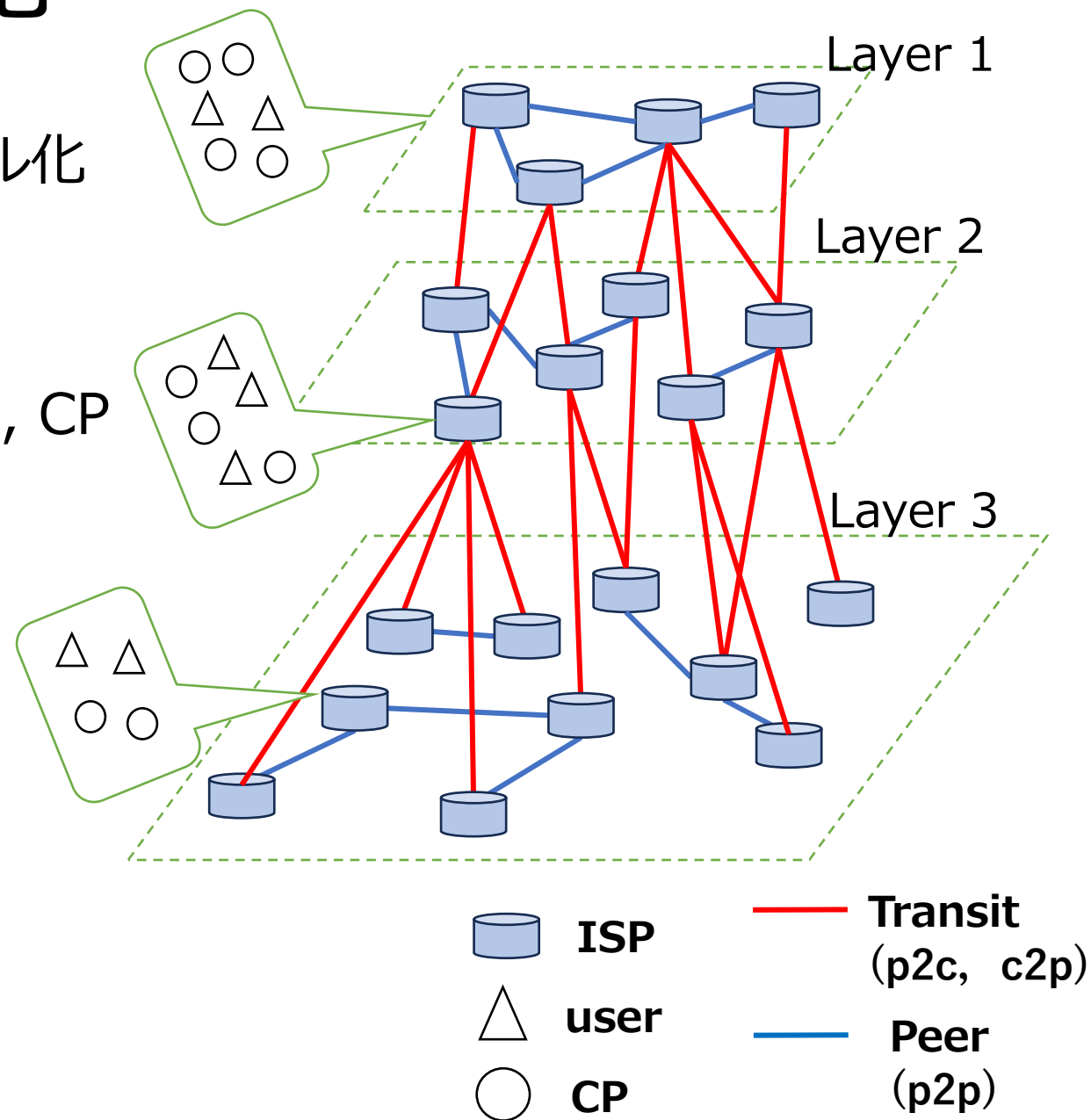
■ ISP間トポロジ

- 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

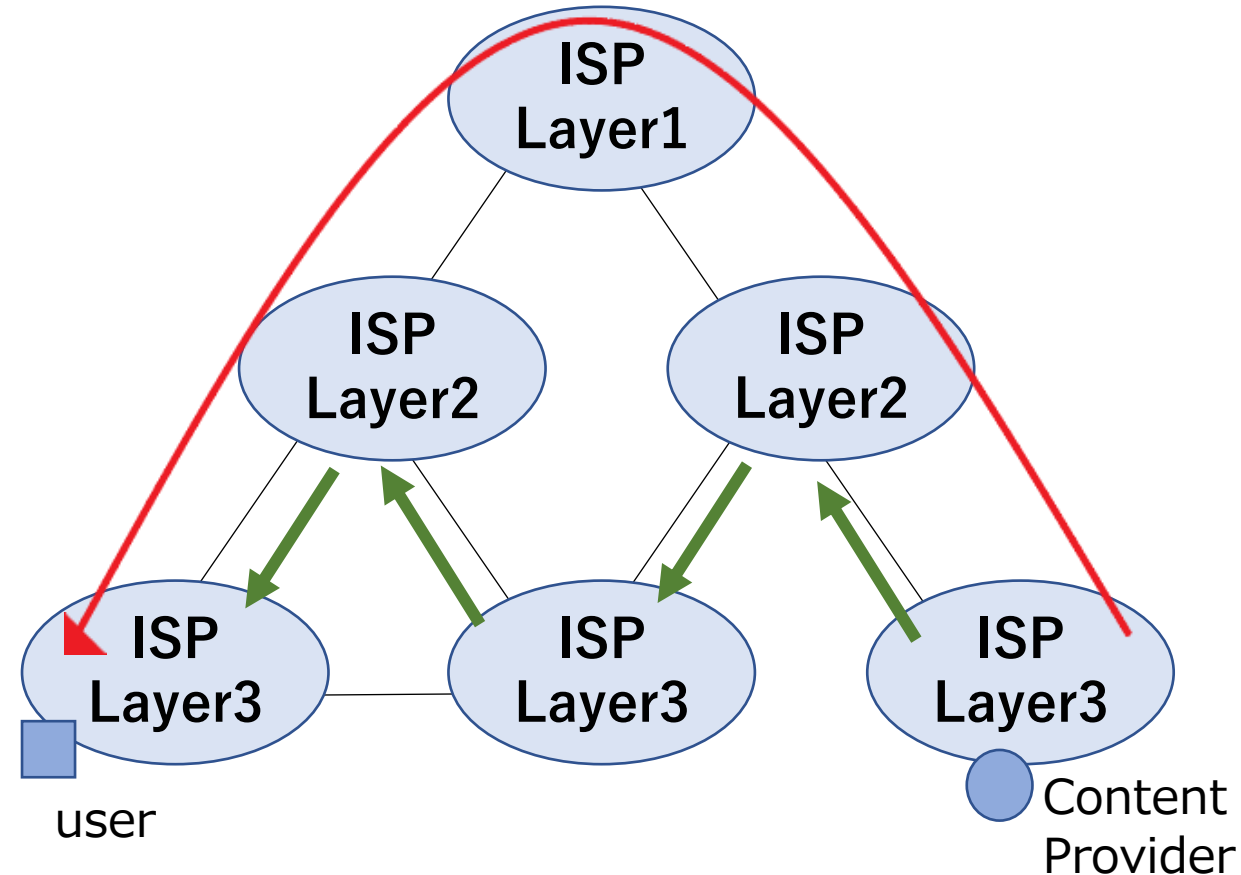
レイヤ1	レイヤ2	レイヤ3
0.460	0.426	0.114

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
$$p2c > p2p > c2p$$

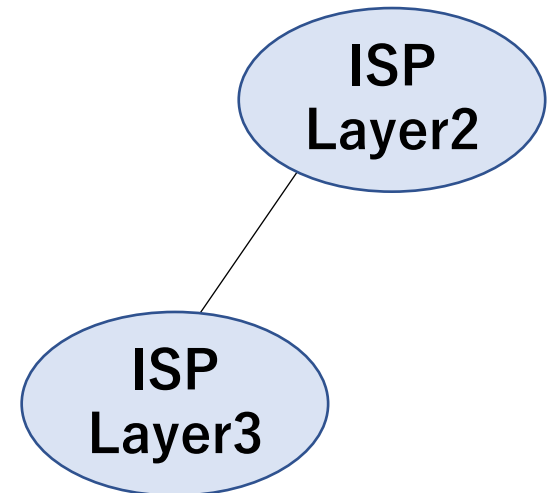
- Valley-free ルーティング

- 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で増加
- 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
- 感応度S： 9

協力ゲーム

- 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)でより大きな収益Rに

- 協力ゲームでみて収益の分配を考える

- 3者間ナッシュ交渉解

- シャーププレイ値

- プレイヤー N：各レイヤ($\{1,2,3\}$)

- 提携 S：Nの部分集合、 ICNを導入するレイヤ

- 特性関数 $v(S)$ ：提携Sにおける利得

- $v(i, j) = \Delta R_i + \Delta R_j$

3者間ナッシュ交渉解

- 提携時の収益増加分を各プレイヤー間で均等に分配する合意案

- 全参加者の効用の積を最大化する

- 基準となる協力しないとき(ICN導入前)の収益から

- 3者協力(ICN導入)による収益増加分の積を最大化する点を求め、
各レイヤの分配 x_k を導出

- $(x_1 - R_1)(x_2 - R_2)(x_3 - R_3)$ を最大化

- 全体合理性 $x_1 + x_2 + x_3 = v(1,2,3)$ を満たす

- $$x_k = \frac{v(1,2,3) - R_1 - R_2 - R_3}{3} + R_k$$

結果：3者間ナツシュ交渉解

■(a)レイヤkの分配 x_k

■求めた解

■(b)分配 x_k にするために受け取る調整金 y_k

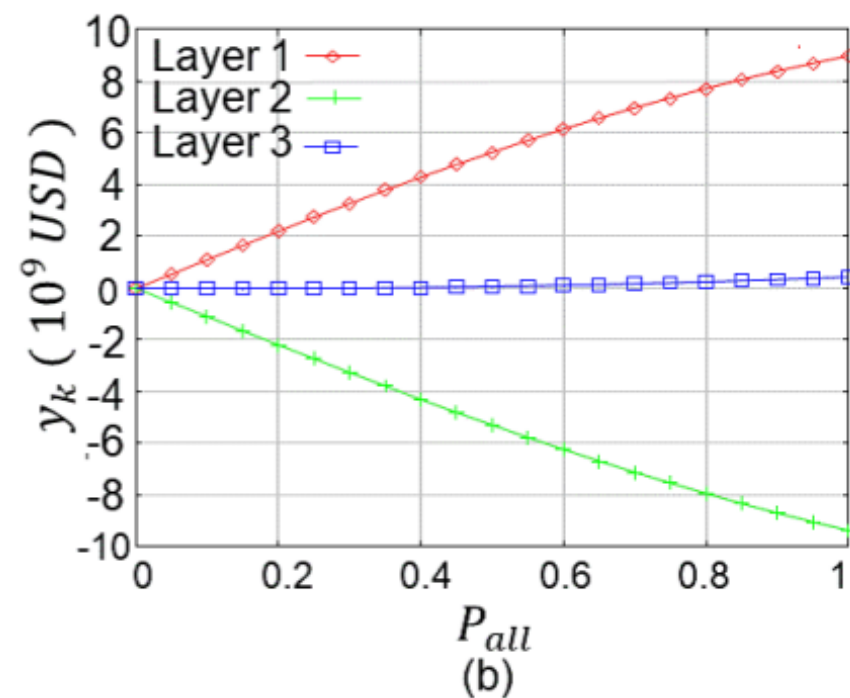
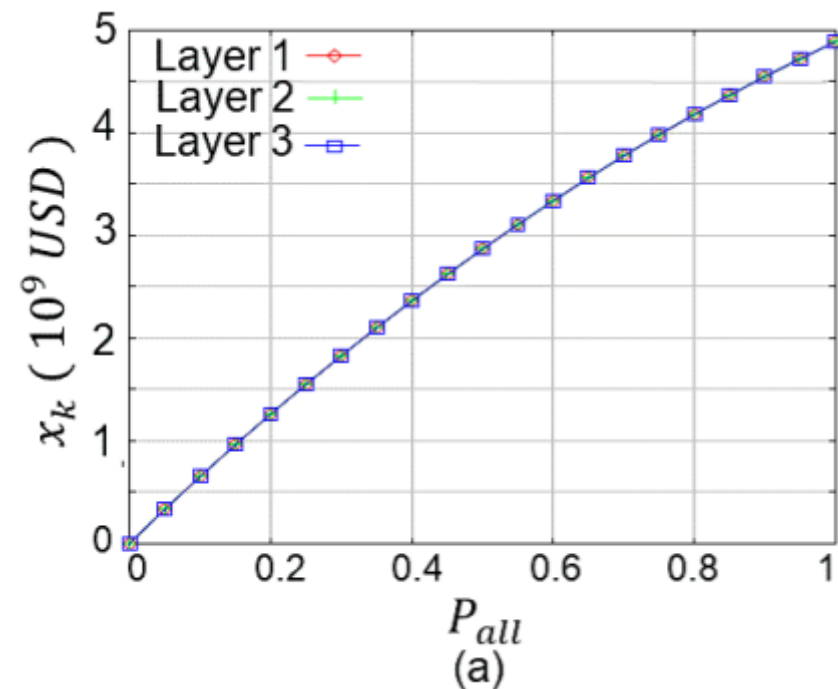
■分配を行わない時との差

■全レイヤ等しい収益分配

■ $x_1 > 0$, icn普及可能性あり

■レイヤ1が受け取り、レイヤ2が支払う形

■ICN普及率増加により $v(1,2,3)$ が増加し
分配額も増加



シャープレイ値

- 提携に対する各プレイヤーの貢献度に応じて分配する合意案
- 新たに提携に加わった(ICNを導入した)プレイヤーが
どれだけ収益増加に貢献したかを表す限界貢献度の平均をとり
各プレイヤーの分配 x_k を導出
- 各提携への参加は一樣な確率
- 提携への参加の順列を考慮し平均をとる

$$\blacksquare x_k = \frac{2\{v(1,2,3)-v(i,j)\}+v(i,k)-v(i)+v(j,k)-v(j)+2v(k)}{6}$$

結果：シャープレイ値

■(a)レイヤkの分配 x_k

■求めた解

■(b)分配 x_k にするために受け取る調整金 y_k

■分配を行わない時との差

■レイヤ2が最も大きい分配量

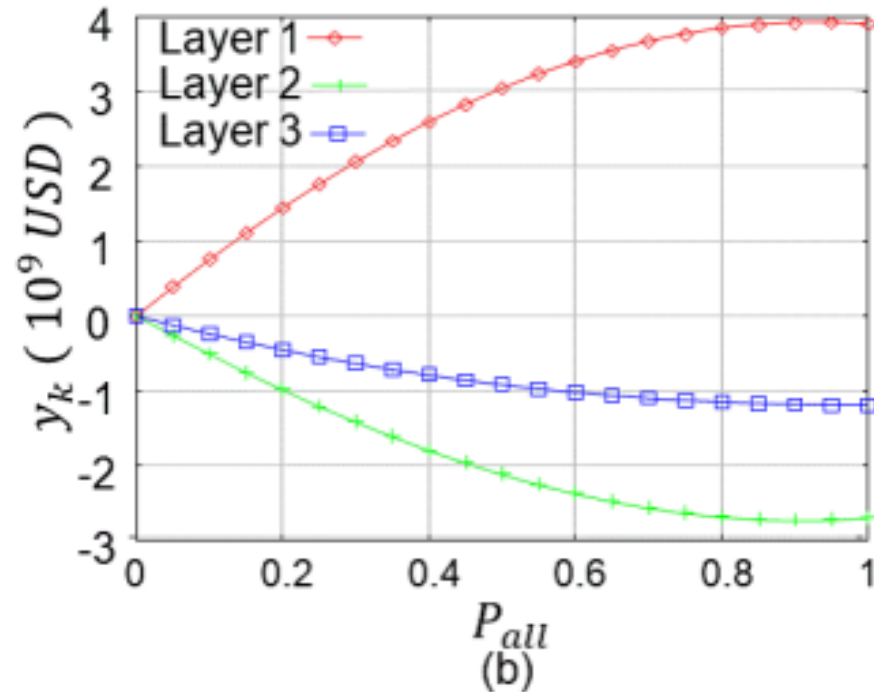
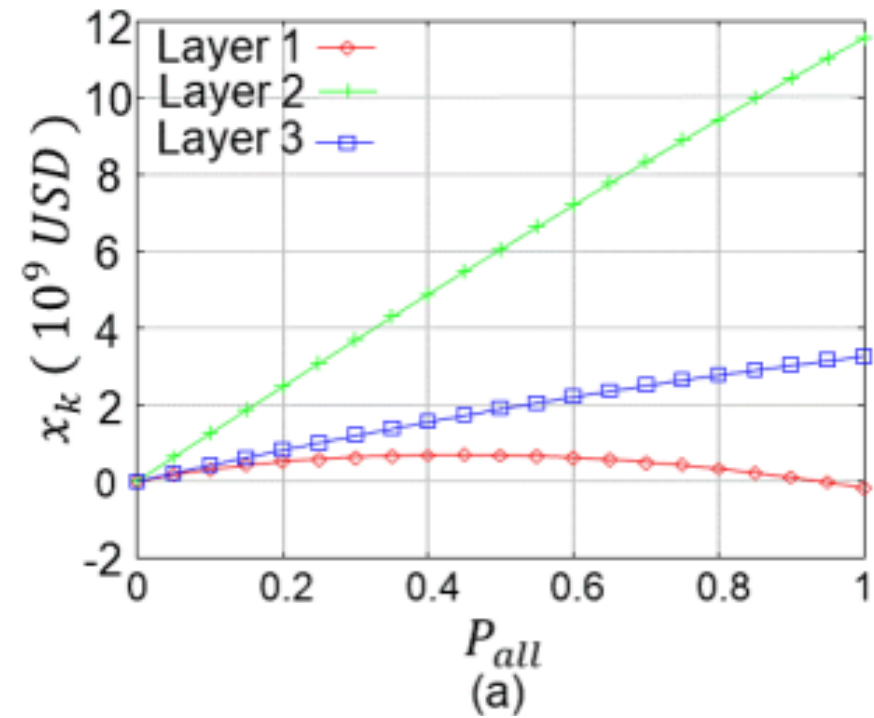
■提携参加時の利得の増加比

■一部 $x_1 > 0$, icn普及可能性は要検討

■レイヤ1が受け取り、レイヤ2,3が支払う形

■ICN普及率増加につれ、

収受量の増加が小さく



各提携の不満

- ナッシュ交渉解やシャーププレイ値は、一意に求めた分配案
- 実際の交渉にあたって、3者で合意されとは限らない
- $e(S, x) : v(1, 2, 3)$ の分配 x に対する、各提携 S の不満を考える
 - $e(S, x) = v(N) - \sum_{k \in S} x_k$
- $e > 0$ で不満あり
- すべての部分提携 S において、不満がない($e < 0$)とき
- 分配 x は合理的で安定した分配といえる

各提携の不満

■(a)ナッシュ交渉解での分配に対する不満

■レイヤ2の関わる提携の不満が正の値

■不満あり

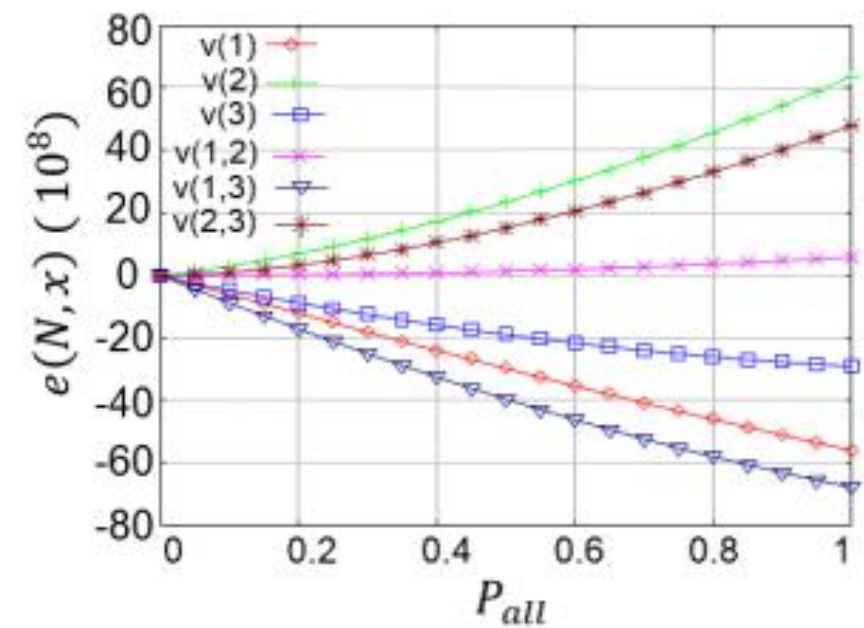
■3者での協力が成り立たない可能性

■(b)シャーププレイ値での分配に対する不満

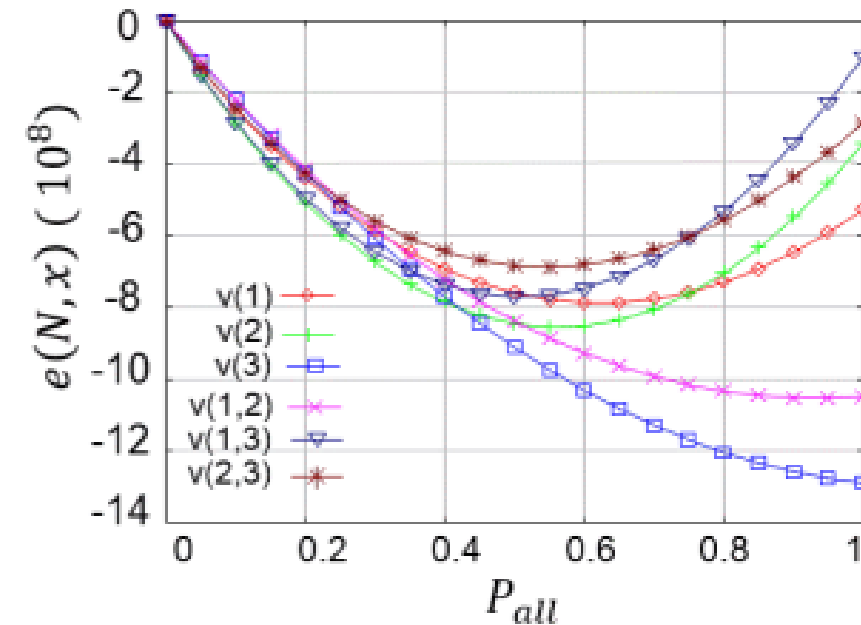
■すべての提携において不満の値は負

■余剰あり

■3者での協力が安定的



(a) Nash bargaining solution



(b) Shapley value

まとめ

- ICN普及のためのインセンティブ付与方法の検討
 - 協力ゲームとしてみたて、収益の分配方法とその特徴の分析
- 分配方法
 - 3者間ナッシュ交渉解
 - シャーププレイ値
- 各提携の不満を導出し、協力が安定的か検討
- 今後の方針
 - シミュレーション条件の変更
 - 最大不満を最小化する解である π の導出
 - 全体提携が安定的である分配の導出
 - ICN普及可能性の分析
 - 実トポロジにおいても適応可能か