

[招待講演] ネットワーク中立性と非協力ゲームによる分析

上山 憲昭[†]

† 福岡大学工学部 〒 814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1

E-mail: †kamiyama@fukuoka-u.ac.jp

あらまし インターネットの8割以上のトラヒックはコンテンツ配信が占めているが、その中でも動画配信によるトラヒックの増加が目覚ましい。動画配信により急増するトラヒックの配信品質を維持するには、アクセスISPはネットワーク(NW)設備の継続した投資が求められる。しかしアクセスISPはエンドユーザからの料金収入が収益源であるが、動画トラヒックの増加に応じたアクセス料金の値上げをユーザに求めるることは困難であり、NW投資コストを賄う十分な収益源の確保がアクセスISPにとって課題である。そのためアクセスISPは、自身が収容するコンテンツ事業者(CP)以外のCPに対しても料金を徴収するTermination fee modelや、スループットや遅延品質が良好な高品質クラスを設け、高品質サービスを使用するCPに対し追加料金を徴収するFast laneなど、新たな収益源を確保する様々な方策を検討している。しかしこのようなISPの取り組みに対し、インターネットは公共性の高いインフラであり、多様なサービスが開発され発展するためにはISPはトラヒックをCPによって差別化すべきでないとするNW中立性が米国で主張されている。本稿ではNW中立性に関する議論の要点を述べる。インターネットはISP、CP、広告主、CDN、ユーザなど多様な主体が関わるエコシステムであり、NW中立性の是非を明らかにするには、自律的な多様な主体間の相互作用をモデル化する非協力ゲームによる分析が不可欠である。そこで本稿では、非協力ゲームを用いたNW中立性の分析のアプローチとこれまでの研究の概略を述べ、NW中立性における望ましい姿を考察する。また最後に、非協力ゲームによる分析の課題と解決に向けたアプローチを述べる。

キーワード コンテンツ配信、ネットワーク中立性、ゼロレーティング、ファストレーン

[Invited Talk] Network Neutrality and Its Analysis Using Non-Cooperative Game

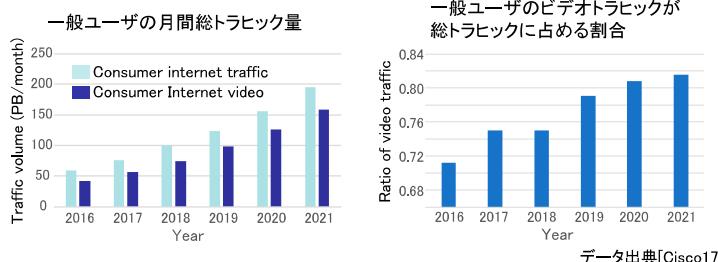
Noriaki KAMIYAMA[†]

† Faculty of Engineering, Fukuoka University 8-19-1, Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka, 814-0180
E-mail: †kamiyama@fukuoka-u.ac.jp

Abstract In the Internet, more than 80% traffic is generated by content-delivery service, and the increase of traffic caused by video delivery is remarkable. To maintain reasonable quality for rapidly-increased traffic, access ISPs are required to invest networks continuously. However, although the income of access ISPs rely on access charge applied to end users, requiring end users to increase the access charge due to growth of video traffic is difficult. Hence, assuring new revenue sources is a challenge for access ISPs, so access ISPs examine various strategies acquiring new revenue sources, e.g., termination fee model, charging fee to content providers (CPs) which are not directly connected, and fast lane, charging additional fee to CPs using high-quality class. Against these activities of ISPs, the network neutrality has been claimed mainly by CPs in USA. The idea of network neutrality is that the Internet is with high publicness, and ISPs should not discriminate traffic among CPs to sustain the development of various and attractive services on the Internet. In this paper, we briefly summarize the discussion related to the network neutrality. The Internet is an ecosystem consisting of various entities, e.g., ISP, CP, advertiser, and CDN, and analysis by non-cooperative game which models the interaction among various entities is indispensable to clarify the ideal solution regarding the network neutrality. In this paper, we briefly summarize the ways analyzing various approaches of ISPs violating the network neutrality using non-cooperative game, and we discuss a desirable solution regarding the network neutrality. Finally, we describe the problems of analyzing network neutrality by non-cooperative game and approaches to solve these problems.

Key words content delivery, network neutrality, zero rating, fast lane

ビデオトラヒックの増大



- Consumer traffic: 家庭、大学、ネットカフェなどから発生したfixed IP traffic
- Internet video: UGC (YouTubeなど), 有料配信ビデオ (Huluなど), ライブビデオ, オンラインビデオレンタル, Webcam viewingなど
- Consumer videoは年平均成長率27%で増加
- Internet videoは年平均成長率31%で増加
- ビデオトラヒックの増加が顕著で、2020年にはトラヒック全体の80%を超過

Free Riding と Termination Fee

- エンドユーザはアクセスISP(Eyeball ISP)と契約することで、インターネットのあらゆるサービスを利用可能
- コンテンツプロバイダ(CP)
 - エンドユーザと同様、アクセスISPと契約し配信サーバを接続
 - CDN事業者と契約し、キャッシュサーバから配信
- 配信先ユーザーを収容するアクセスISPの不満
 - コンテンツのリッチ化や配信数の増加に伴い、トラヒック量が急増し、ネットワーク(NW)設備投資コストが増大
 - CPはユーザーを収容するアクセスISPに料金を支払わず、コンテンツ配信によって収益を享受 ⇒ **Free riding**
 - CPはユーザーを収容するアクセスISPに**Termination fee**として料金を支払うべき

One-sided pricing

Two-sided pricing



1

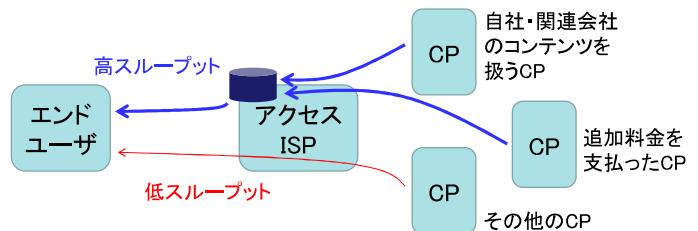
2

Zero Rating と Sponsored Data

- 多くのモバイル通信事業者の課金方式は定額従量制や従量制
- **Zero rating**: 自社や特定企業の動画配信を課金対象外として、自社や特定企業のサービス利用を促進
 - AT&T: 自社提供の動画配信DirecTVを課金対象外
 - Verizon: 自社提供の動画配信Go90を課金対象外
 - Comcast: NetFlixの配信を高品質化 or 課金対象外
 - T-Mobile: 提携Rhapsody社のインターネットラジオを課金対象外
- **Sponsored data**: CPがユーザーの配信料金を負担
 - AT&T: AT&T Data Perks
 - Verizon: FreeBee Data
 - T-Mobile: Music Freedom, Binge On
 - Wikipedia Zero: 発展途上国で利用者がWikimediaを利用する際のデータ通信料金をWikimedia財団が負担
 - 同様の取り組みとして、Facebook Zero, Google Free Zone

Fast Lane

- VerizonとComcastのNetflixに対する優遇措置
 - VerizonとComcastを用いた際のNetflixの通信速度が急速に低下
 - Netflixは両社のNWと接続してピアリング料金を支払うことで通信速度は回復
- **Fast lane**: ISPが特定のCPのコンテンツ配信を優遇 or 遮断
 - 自社・関連会社・追加費用を払ったCPのコンテンツを帯域増加やキャッシュ配信によって優遇し、スループットを向上
 - 競合他社のコンテンツを遮断したりスループットを低下



3

4

ネットワーク中立性をめぐる議論

- Network Neutrality (NN):
 - 市場支配力の高いアクセスISPが、トラヒックの急増に対し新しい収益源の確保を目的に始めた様々な方策に対しての是非をめぐる論争
- Tim Wuが2003年に初めて「Network Neutrality」という言葉を使用[Wu03]
 - ネットワークは中立であるべき
 - ネットワーク事業者はトラヒックを差別化してはならない
- Christopher Yooは2005年にISPのトラヒック差別化は必要との見解[Yoo05]
 - ISPはトラヒック差別化で利益が増大
 - 多様なISPの成長にはISPの利益増大が不可欠
- Robin S. Leeらは2009年にNNを擁護する見解を表明[Lee09]
 - サービスイノベーション促進にはCPの参入コストが低い方がよい
 - Termination feeの導入には新たな課金システムが必要
 - ISPがCPを差別化すると、インターネットのフラグメント化を招く
- NNに関する定めた定義はない

米国のNNに関する主な動向

- 2010/12 FCCはNNに関する初の公式な規則「Open Internet Order」を発表
 - 違法性のないコンテンツへの接続に対する速度の制限やブロックの禁止
 - ネットワーク管理に関する透明性の維持
- 2014/5 FCCはインターネット中立性に関する規則の改定案を発表
 - Open Internet Orderの方針を維持しつつ、Fast Laneを認める方針
 - Google, Facebook, Amazon, Netflixなど100以上のCPがFast Laneの導入に反対
 - 2014/8 オバマ大統領(当時は、次のGoogleやFacebookが現れるためにはインターネットはオープンであるべきという立場でFast Laneに反対
- 2015/2 FCCは新しいインターネット中立性に関する規則を発表
 - 通信のブロック・通信速度の制限・Fast Laneの禁止(Zero ratingに触れず)
 - ISPやネットワーク機器メーカーは、ユーザへのコスト増につながるとして反対
 - 多くのCPは賛成。GoogleはISP事業にも進出しているため立場を明らかにせず
- 2017/12 FCCは2015に設けたNNに関する規制を全て撤廃[FCC17]
 - 従来、民主党はNNに賛成、共和党はNNに反対の立場
 - オバマ政権からトランプ政権に交代し、共和党がFCCの主流に
 - ISPはTermination fee, CP tiering、特定CPのトラヒックのブロックや帯域制限が可能
 - ただしISPは、Fast laneの内容・対象CP、通信規制・帯域制限対象など、NNに関する制御内容を公開する義務【Transparency requirement】
 - AT&T, Verizon, Comcastは「コンテンツのブロックや通信速度制限の不実施」を明言

5

6

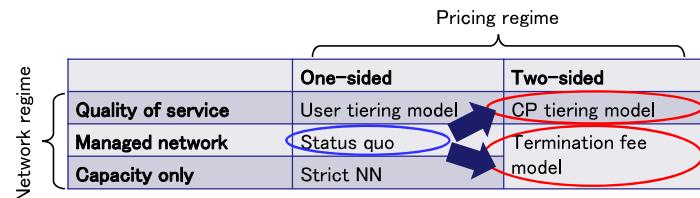
完全にネットワーク中立性が実現された世界と現状

- 完全にNNが実現された世界
 - One-sided pricing: Eyeball ISPはユーザに対してのみ課金
 - ユーザは帯域のみ差別: 契約帯域に応じたアクセスサービス
 - CPを非差別化: すべてのCPのトラヒックを同等に扱い
 - 完全なNNの世界は実現可能か?
 - 例えば同一SDフレーの一部のフローだけ異なる経路を用いても、スルーブットが差別化されてしまう[Pappas15]
 - Zero ratingは、CP, ISP, ユーザのすべてにとってメリットがあり許容すべきで、NNの規制の範囲外とすべき[Brake16]
 - Status quo: 現状はどうなっているか?
 - Managed network control: P2Pトラヒックの規制、IPTVに対する帯域保証、Zero ratingなど、ISPは既にサービス・CPによりトラヒックを差別化
 - 第1の定義に関しては、すでにNNN(Non Network Neutrality)の状態
 - “Transparency”(ISPが規制対象とするサービスを公開し、ユーザがそれを知った上でISPを選択できること)が満たされていればOK
 - One-sided pricing: CPもユーザとしてISPに対し料金を支払い
- 現状は、One-sided pricing & managed network control

NNの規制撤廃により今後予想される状況

- Network regimeとPricing regimeの2軸で分類[Kramer13]

- Network regime: トラヒックの差別化方法
- Pricing regime: one-sided vs two-sided



- ケース1: Termination feeを一部のCPが導入
 - 非独占環境であっても、収容ユーザ数が多く競争力の高いISPは単独でTermination feeの導入が可能[Kamiyama14]
- ケース2: CP tieringを一部のCPが導入
 - NNNが許されているボルトガルでは、既にモバイル通信事業者MEOが特定のCPのみ接続可能なサービスを提供[Meo]

NNに関する議論のまとめ

NN賛成

- インターネットが成功したのは、誰もがISPの許可なしに自由にイノベーションを起させたから
- NNの規制がなくなると、新たなサービスが生まれにくくなる
- NNの規制がなくなると、インターネットがフラグメント化(ユーザの利便性が低下)

NN反対

- 民間企業であるISPの事業継続には利益の確保が必要
- 急増するトラヒック需要に対し新たなNW投資原資が必要

支持者: CP
(Amazon, Facebook, Google, Apple)
米国の民主党

非協力ゲームの分類

- 完全合理性 vs 限定合理性
 - 完全合理性: プレイヤの意思決定において以下の合理性を想定
 - 結果の選好に対する一貫性
 - 意思決定の最適性
 - 行動に対する結果の予測(計算)完全性
- 利他的な行動を想定することも可能であるが、利己的な人間や組織を想定するケースが多い
- 完備情報 vs 不完備情報
 - 完備情報: 以下に関しすべてのプレイヤにとって自明であること
 - プレイヤと各プレイヤの行動の選択肢
 - 他のすべてのプレイヤの、全プレイヤの行動集合に対する各行動の結果得られる効用値
- 完全情報 vs 不完全情報
 - 完全情報: 他のプレイヤの選択した行動が完全に分かる場合

最も基本的なモデル: 完全合理性・完備情報・完全情報

非協力ゲームを用いたNNNの影響分析

- ネットワーク中立性の概念のまとめ

- CP or AP discrimination: アクセスISPがCPやアプリケーションによってトラヒックの扱いを差別(優先制御、経路制御、シェーピング、規制等)
- Termination fee: アクセスISPがすべてのCPに同じ条件で課金
- CP tiering (Zero rating, Fast Lane): アクセスISPが追加支払い料金に応じてCPのトラヒックを差別化
- Two-sided pricing (Termination fee, CP tiering)の是非を判断するには、ISP, CP, ユーザ、広告主といった各ステークホルダの効用(利益、満足度)に与える影響を明らかにする必要あり



- 非協力ゲーム: 意思決定の相互依存性を分析する理論

- 各プレイヤの行動の組みに対し、各プレイヤの効用が決定
- 各プレイヤが自身の効用最大化を図る行動の結果、実現される状態を導出

ナッシュ均衡

- 非協力ゲームを解くとは?

- 完全合理性・完備情報の想定の下、各プレイヤは自身の効用が最大となるよう利己的に行動
- モデル化されたゲームで各プレイヤがとる行動を予測
- 予測される行動の組がゲームの解

- ナッシュ均衡

- 最適応答戦略: 他のプレイヤの戦略(行動)に対して、自分の効用を最大にする戦略(行動)
- ナッシュ均衡: 各プレイヤが最適応答戦略をとりあい実現される状態
- 定義「他のプレイヤが戦略を変えないで自分だけが他の戦略に変えて自身の効用が増加しない戦略の組」
- ナッシュ均衡の数
 - 純粋戦略では存在しない場合(じゃんけんなど)も、混合戦略(確率的選択)を用いることで、常にナッシュ均衡が存在
 - 複数のナッシュ均衡が存在する場合もあり ⇒ 均衡選択問題

戦略形ゲームと展開形ゲーム

■ 戰略形ゲーム

- 他のプレイヤの行動がわからない(同時行動など)【不完全情報】
- 利得行列を用いてナッシュ均衡解を導出

■ 展開形ゲーム

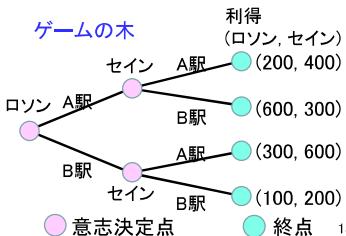
- 各プレイヤが順番に行動し、前に行動したプレイヤの選択がわかる【完全情報】
- ゲームの木を用いて逆向き推論によりナッシュ均衡解を導出

例

プレイヤ: ロソン、セイン
戦略: 新規店舗をA駅前 or B駅前に出店

利得行列(ロソン、セイン)

	A駅	B駅
ロソン	(200, 400)	(600, 300)
A駅	(300, 600)	(100, 200)

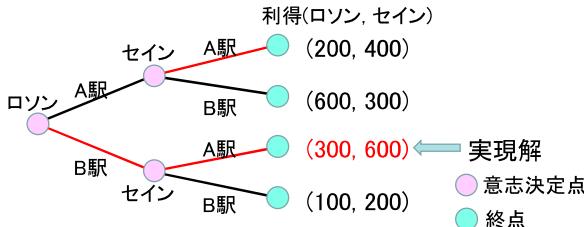


13

ナッシュ均衡解の導出(展開形ゲームの場合)

逆向き推論(Backward Induction)

- プレイヤの完全合理性を仮定すると、各プレイヤは自分の行動に対して次に行動するプレイヤがどの戦略を選択するかを予測可能
- 終点から出発し、行動順とは逆方向に各意志決定点における最適戦略を求めていくことが可能
- すべての意志決定点における最適戦略を求める必要があり、プレイヤ数や戦略数の増加に伴い計算量は急激に増加



15

効用(Utility)

- 非協力ゲームでは、各プレイヤが自身の効用最大化を目的に行動する「合理的な行動」を想定 ⇒ 効用とは何か?
- 効用: 各プレイヤがサービスの提供(享受)によって得る価値
 - ISP
 - 収益(revenue): ユーザ、CP(Two-sided pricingの場合)、他ISP(Paid peeringの場合)からの受領料金
 - 利益(profit): 収益からコスト(NW投資・運用コスト、他ISPへの支払料金など)を引いたもの
 - CP
 - ユーザ(有料配信の場合)や広告主からの受領料金から決まる収益や利益
 - ユーザ(コンテンツの最終消費者)
 - コンテンツの消費で得られる価値(例えば支払い意志額(WTP: willingness to pay))と支払い料金との差

全体効用を考えるため、単位を貨幣に揃える場合が多い

ナッシュ均衡解の導出(戦略形ゲームの場合)

■ プレイヤの取りえる戦略が連続量の場合

- 他のプレイヤの戦略に対するプレイヤの効用を定式化
- 効用を最大化する戦略の最適値を導出(偏微分をゼロと置いた式を解く)

■ プレイヤの取りえる戦略が離散量(有限集合)の場合

- 各プレイヤの他プレイヤの戦略の組みに対する最適応答を導出
- 全プレイヤの最適応答となる戦略の組をナッシュ均衡解として抽出
- すべてのナッシュ均衡解を得るには、すべての戦略の組に対しナッシュ均衡点の可能性を調べる必要があり、プレイヤ数や戦略数の増加に伴い計算量は急激に増加 ⇒ 目星をつけた戦略組だけチェック

利得行列(ロソン, セイン)

	A駅	B駅
ロソン	(200, 400)	(600, 300)
A駅	(300, 600)	(100, 200)

ナッシュ均衡解(ロソンB駅, セインA駅)

- ロソンは自分だけ戦略を変えると利得が300→200に減少
- セインは自分だけ戦略を変えると利得が600→200に減少

ナッシュ均衡解

ISPの市場環境とNNN

■ Termination feeやCP tieringの影響はアクセスISPの市場環境に依存

■ 独占市場

- 特定の地域において、単独のアクセスISPがサービスを提供
- ユーザにとっては、独占ISPと契約するか否かの選択肢のみ
- CPは本地域のユーザに高品質な配信を行うには、独占ISPとの契約が不可欠であり、ISPの立場が強い

■ 寡占市場

- 2つ以上の少數のアクセスISPが特定地域でサービスを提供
- Termination fee導入ISPとの契約無でも、CPは他ISPのユーザへの配信は可能
- そのためISPはTermination feeの導入が自身の利益に与える影響を推測して導入判断を行う必要あり[Kamiyama14]

■ 完全競争市場

- 多数の事業者が同一サービスを提供する場合 ⇒ 1事業者の行動が市場価格に影響を与えない【Price taker】⇒ 価格を所与として効用を最大化(他のプレイヤの行動は考慮しない)【ミクロ経済学】
- 多数のアクセスISPが特定地域でサービスを提供する環境は考えにくい

ISPの市場環境は独占市場 or 寡占市場に相当 ⇒ ゲーム理論で分析

16

全体効用(Social welfare)

■ エコシステムを構成するすべてのプレイヤの効用の総和

■ 全体としての望ましい状況とは?

- 多くの研究は「パレート最適」を理想的な状態と定義
- パレート最適:
 - 全体効用が最大化された状態
 - 他の誰かの効用を減らすことなく、誰かの効用を増加できない状態
 - 公平性は考慮しない

■ ナッシュ均衡 ≠ パレート最適

- メカニズムデザイン: ナッシュ均衡解をパレート最適解に近づける仕組み
 - 政策・規制などのルール
 - 奨励金・補助金・ポイントシステムなどのインセンティブ

■ 公平性に関する尺度も考慮すべき?

- 個人合理性: すべてのプレイヤの効用が減少しないこと

ゲーム理論分析の目的の1つは、パレート最適に近い状態(+個人合理性)を実現する仕組みを明らかにすること

18

ゲーム理論を用いたTwo-sided pricingの分析

- プレイヤ
 - 単一(独占状態)もしくは少数(寡占状態)のアクセスISP
 - 複数のCP(ユーザの潜在需要は固定)
 - エンドユーザー(考慮しない場合もあり)

■ 完備情報・完全情報の2ステージ展開型ゲーム

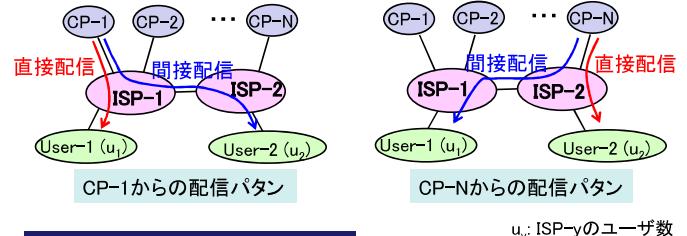
- 1stステージ: ISPが行動
 - Termination fee model: CPへの課金料金を決定
 - CP tiering model: 品質クラスの内容と追加料金を決定
- 2ndステージ: CPが行動
 - Termination fee model: 契約ISPを決定
 - CP tiering model: 品質クラスを選択
- さらに3rdステージでユーザが契約ISPを選択するモデルもあり



Termination fee の分析例: コンテンツ課金

[Kamiyama14]

- プレイヤ構成: 二つのISPとN個のCP(各々が自律的な主体)
 - ISP-1: コンテンツ課金 \Rightarrow 配信料Pの各配信に対して αP をCPから徴収
 - ISP-2: トランジット課金 \Rightarrow 転送総データ量Vに対して $100V^\beta$ をCPから徴収
- 各CPは最大1つのISPと自由に契約 (α, β は0~1の範囲の値をとる課金パラメタ)
- 両ISPは相互接続 \Rightarrow CPは一方のISPとの契約で両ISPのユーザに配信可能



19 20

発生トラヒック量モデル

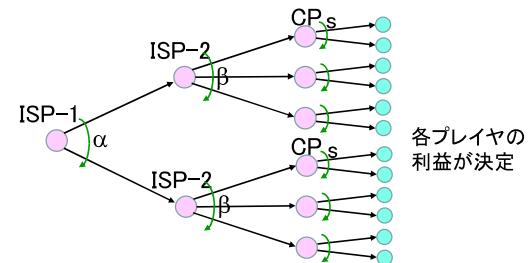
d_{xy} : ISP-yの各収容ユーザのCP-xに対する月間平均配信回数

$$d_{xy} = \begin{cases} \varepsilon_x d & (\text{直接配信: CP-xがISP-yと契約あり}) \\ \gamma \varepsilon_x d & (\text{間接配信: CP-xがISP-yと契約なし}) \end{cases}$$



展開形ゲームによるモデル化

- ISP-1, ISP-2, CPをプレイヤとする完全情報展開形ゲーム
 - 第1ステージ: ISP-1がコンテンツ課金パラメタ α を設定
 - 第2ステージ: ISP-2がトランジット課金パラメタ β を設定
 - 第3ステージ: 各CPが契約ISP(戦略s)を決定
 - (s = 0: 契約なし, s = 1: ISP-1と契約, s = 2: ISP-2と契約)



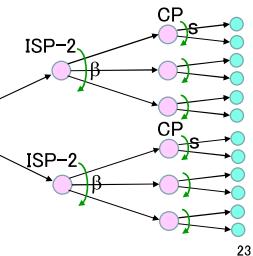
21 22

各プレイヤの最適戦略

- コンテンツ事業者CP
 - α と β に対して各CP-xの戦略 s 採用時の利益 $\phi_{x,s}$ を導出
 $\Rightarrow \phi_{x,s}$ が最大の戦略 s を最適応答として選択

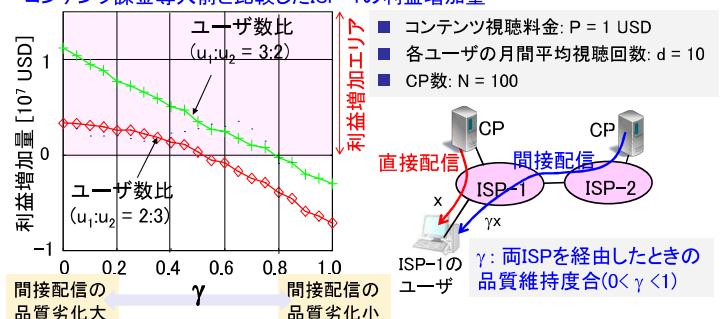
- ネットワーク事業者ISP-2(トランジット課金)
 - α に対してISP-2の利益 R_2 を導出 $\Rightarrow R_2$ を最大化する β が最適応答
 $(\beta \text{に対する } R_2 \text{ の不連続変化点のみが候補})$

- ネットワーク事業者ISP-1(コンテンツ課金)
 - α の範囲 0~1をK個に等分割した各点を α の設定候補としたとき、ISP-1の利益 R_1 を最大化する α を最適設定値として選択



コンテンツ課金がISPの利益に与える影響

コンテンツ課金導入前と比較したISP-1の利益増加量



- γ が1に近い場合: CPは料金の安いISPを選択する傾向
 - 価格競争によりISPの利益が低下 \Rightarrow コンテンツ課金の導入困難
- γ が0に近い場合: CPはユーザ数の多いISPを選択する傾向
 - ユーザ数が大きなほど競争優位となり、コンテンツ課金導入による利益の増加大 \Rightarrow コンテンツ課金の導入可能(全体効用は維持)

Termination fee (TF) 分析の主な結果

- 2つのISPに多数のCPが接続したモデル[Njoroge12]【TF賛成】
 - TF導入により全体効用は増大
- 独占ISPと2つのCP(1つは有料配信、1つは無料配信)[Naldi13]【TF反対】
 - TF導入により全体効用は減少
- 独占ISPの様々な収益向上策を定量比較[Dhamdhere08]【TF反対】
 - TFはISPの収益予測が困難なので、ISPのNWPにキャッシュしたり、CPとピアリングする方がISPにとって望ましい
- 独占もしくは寡占ISP環境で、CPが単位ユーザーの増加で得られる価値aと、ユーザーが単位CPの増加で得られる価値bが与えられた場合[Economides12]【TFの是非は条件次第】
 - TF導入による全体効用の増減効果はaとbの比率次第
- 独占ISP環境でCPが有料配信と無料配信を行う場合[Altman11]【TFの是非は条件次第】
 - 有料配信の場合: 独占ISPとCPのユーザーに対する課金の単価がps, pcのとき、ユーザーの需要に対するpcの感度がpsの感度より大きなときはTF導入でISPとCPの収益は共に減少するが、そうでないときは増加
 - 無料配信の場合: CPの投資のユーザー需要に対する感度が小さいときはTF導入が望ましく、大きいときは望ましくない
- 寡占ISP環境での広告単価ユーザー需要感度分析[Musacchio09]【TFの是非は条件次第】
 - 全体効用の観点からは、クリックあたりにCPが広告主に課金する料金aのエンドユーザーの需要の価格感度θに対する比率a/θの値が小さいか大きい場合はTFが望ましく、a/θが中程度の場合はTFは望ましくない

独占ISP環境ではNN規制が、寡占ISP環境ではNN規制無が望ましい結果が多い 25

CP tiering (CPT) 分析の主な結果

- 独占ISPの高優先クラス(PMP)でユーザーへの課金も考慮[Wang18]【CPT賛成】
 - ビデオトラヒックが多い場合、ユーザーの効用最大化の観点からは両クラスの存在が望ましいが、ISPが利益最大化を図るには有償(高優先)クラスのみの提供が望ましい
 - そのため無償(低優先)クラスの提供をISPに求めることが必要(規制)
- 独占ISPの高優先クラス[Ma17]【CPT賛成】
 - PMP: Paris Metro Pricing
 - ISPが利己的に高優先クラスの価格を設定しても全体効用は増加
 - ただしCPの利益の一部がISPに移転しCPの利益は減少
- 独占ISPの追加帯域 & キャッシュ接続[Mitra17]【CPT賛成】
 - 有償の追加帯域の導入によってISPとCPの利益は共に増加
- 寡占ISPの高優先クラス(PMP)[Ma13]【CPT賛成】
 - ISPがエンドユーザーに関する市場占有率を最大化するよう高優先クラスの価格と帯域を設定すると、ユーザーの効用は最大化
- 寡占ISPのCP別料金モデル[Caron10]【CPTの是非は条件次第】
 - 品質に厳格なCPはCPTが有利で、寛容なCPはCPTが不利
- 独占ISPのCP別料金モデル[Courcoubetis13]【CPTの是非は条件次第】
 - ISPのユーザーへの定額料金やCPの広告料金次第

CPTの導入に対しては賛同的な結果が多い

26

ネットワーク中立性に関する望ましい対応

- 非協力ゲーム理論を用いた分析では、**独占ISP環境ではNN規制の方が、寡占ISP環境ではNN規制無の方が望ましい**という結果が多い
- すべてのCPに課金するTermination feeモデルよりも、**CPに選択肢を与えるCP tieringモデルが望ましい** ⇒ **市場支配力の高いISPに対してはTermination feeを規制**
- また単一ISPの独占エリアにおいては、CPに選択肢を確保することと、スタートアップCPがサービスを維持できるため、一定の帯域を確保した**無償クラスの提供**をISPに課すべき



非協力ゲームを用いたNN分析の課題

- 完全合理性・完備情報の仮定
 - 事業者をプレイヤとする場合、一般ユーザーよりも結果の予測可能性や意志決定の最適性の向上は期待できるが、**完全合理性の仮定は不自然**
 - 他プレイヤの選択肢や効用値を完全に把握できる**完備情報の仮定も不自然**
- 静的モデル
 - 実際にはプレイヤ集合や効用は変化するが、これらが固定で**静的な均衡状態**を分析
- 限定期理・動的モデルによるアプローチ
 - 進化ゲーム理論: 個人が定常的に戦略を学習により修正したり淘汰を経て生き残る戦略を探るアプローチを反復
 - 行動ゲーム理論: 実験結果をモデルにフィードバック

さらなる課題

- モデルの妥当性の検証
 - TFやCPTの導入事例はまだ少なく、ISPやCPのコスト・収益に関するデータが入手困難
 - ユーザのWTP実験は可能でも、TFやCPTの導入実験を行うことは難しい
 - [Antonopoulos18]はISPの投資額と収益、CPの収益の実データを用いた相関分析を行っているが、国レベルのマクロデータに限定

28

参考文献(1)

- [Altman11] E. Altman, et al., Network Non-neutrality Debate: An Economic Analysis, Networking 2011
- [Antonopoulos18] A. Antonopoulos18, et al., Internet Service Providers vs. Over-the-Top Companies: Friends or Foes?, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Jan. 2018
- [Brake16] D. Brake, Mobile zero rating: The economics and innovation behind free data, Information Technology & Innovation Foundation, May 2016
- [Caron10] S. Caron, et al., Application Neutrality and a Paradox of Side Payments, ReArch 2010
- [Cisco17] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021
- [CloudFront] <https://aws.amazon.com/jp/cloudfront/pricing/>
- [Courcoubetis13] C. Courcoubetis, et al., Revenue Models, Price Differentiation and Network Neutrality Implications in the Internet, NetEcon 2013
- [Dhamdhere08] A. Dhamdhere, et al., Can ISPs be Profitable Without Violating Network Neutrality?, NetEcon 2008
- [Economides12] N. Economides, et al., Network neutrality on the Internet: A two-sided market analysis, Elsevier Economics and Policy, 24 (2), pp.91–104, June 2012
- [FCC17] FCC Takes Action to Restore Internet Freedom, FCC News Release, Dec 14, 2017
- [Haun06] R. Hahn, et al., The economics of net neutrality, The Economists' Voice, 3, pp.1–7, June 2006
- [Kamiyama14] N. Kamiyama, Effect of Content Charge by ISPs in Competitive Environment, IEEE/IFIP NOMS 2014
- [Kramer13] J. Kramer, et al., Net neutrality: A progress report, Telecommunications Policy, 37, 2013

参考文献(2)

- [Lee09] R. S. Lee, et al., Subsidizing Creativity through Network Design: Zero-Pricing and Net Neutrality, Journal of Economic Perspectives, 23 (3), pp.61–76, Summer 2009
- [Ma17] R. Ma, et al., Paid Prioritization and Its Impact on Net Neutrality, IEEE JSAC, 35 (2), pp.367–389, Feb. 2017
- [Ma13] R. Ma, et al., The Public Option: A Nonregulatory Alternative to Network Neutrality, ToN, 21 (6), pp. 1866–1879, Dec. 2013
- [MEO] MEO, <https://www.meo.pt>
- [Mitra17] D. Mitra, et al., Emerging Internet Content and Service Providers' Relationships: Models and Analyses of Engineering, Business and Policy Impact, INFOCOM 2017
- [Musacchio09] J. Musacchio, et al., A Two-Sided Market Analysis of Provider Investment Incentives With an Application to the Net-Neutrality Issue, Review of Network Economics, 8 (1), pp.22–39, Jan. 2009
- [Naldi13] M. Naldi, et al., When free riding is the best choice: the case of network charges for content providers, CNSM 2013
- [Njoroge12] P. Njoroge, et al., Investment in Two Sided Markets and the Net Neutrality Debate, Review of Network Economics 12 (4), Oct. 2012
- [Pappas15] C. Pappas, et al., Transparency Instead of Neutrality, ACM HotNet 2015
- [Wang18] X. Wang, et al., Paid Peering, Settlement-Free Peering, or Both?, INFOCOM 2018
- [Wu03] T. Wu, Network Neutrality, Broadband Discrimination, J. Telecomm. and High Tech. Law, vol. 2, pp. 141–179, June 2003
- [Yoo05] C. Yoo, Beyond network neutrality, Harvard Journal of Law & Technology, 19, pp.1–77, 2005

29

30