
ネット中立性規制の所得分配効果について —マルチエージェント・シミュレーションによる推定—

中央大学 実積寿也

東京大学 鳥海不二夫

静岡大学 高口鉄平

研究目的

ネット中立性に関する従来の議論には、実証データや現実を反映した経済モデルに基づくものは実積（2019）を除き些少であり、提案されたルールが経済厚生に与える優劣を実証的に議論することが困難である。

本研究は、マルチエージェント・シミュレーションの手法を用いた分析モデルを提案し、厳格なネット中立性ルール（有料優先接続の禁止、ブロッキングの禁止、ゼロレーティングの禁止）を緩和することによるプレイヤーの所得分配への影響を定量的に明らかにするもので、今後のネット中立性議論への貢献を行うことを目的としている。

ネット中立性問題の本質

ネット中立性問題とは「ネット中立性が毀損される問題」

- ネット中立性が達成された状態とは？
 - 2000年半ば以降、先進国の通信政策において一大トピックとなった「ネット中立性（ネットワーク中立性）」とは何か。先行研究や各国の政策文書を概観する限り、ネット中立性が確保された状態として、「インターネット上で全てのトラフィックデータが平等に扱われている状態」とされることが多い。しかしながら、わが国の電気通信法制の文脈においては、「B2B市場とB2C市場の双方を含むインターネット市場全体で利用者のネット利用面での制約が最小となった状態」と定義することが適当である。
- ネット中立性が毀損されるという意味
 - ブロードバンドエコシステムに属するいずれかのプレイヤーの行動により、利用者の自由が損なわれるということ

そのため、ネット中立性問題への対処とは、問題を発生させているプレイヤーの行動に一定に規律を加えるということの意味する。

各国におけるルール作りの検討

日本

- ゼロレーティングサービスの提供に係る電気通信事業法の適用に関するガイドライン
- 電気通信事業法の消費者保護ルールに関するガイドライン

米国

- Declaratory Ruling, Report and Order, and Order, In the Matter of Restoring Internet Freedom (いわゆる2017年Internet Freedom Order)

欧州

- Regulation (EU) 2015/2120 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 laying down measures concerning open internet access and amending Directive 2002/22/EC on universal service and users' rights relating to electronic communications networks and services and Regulation (EU) No 531/2012 on roaming on public mobile communications networks within the Union
- BEREC Guidelines on the Implementation by National Regulators of European Net Neutrality Rules (2016)

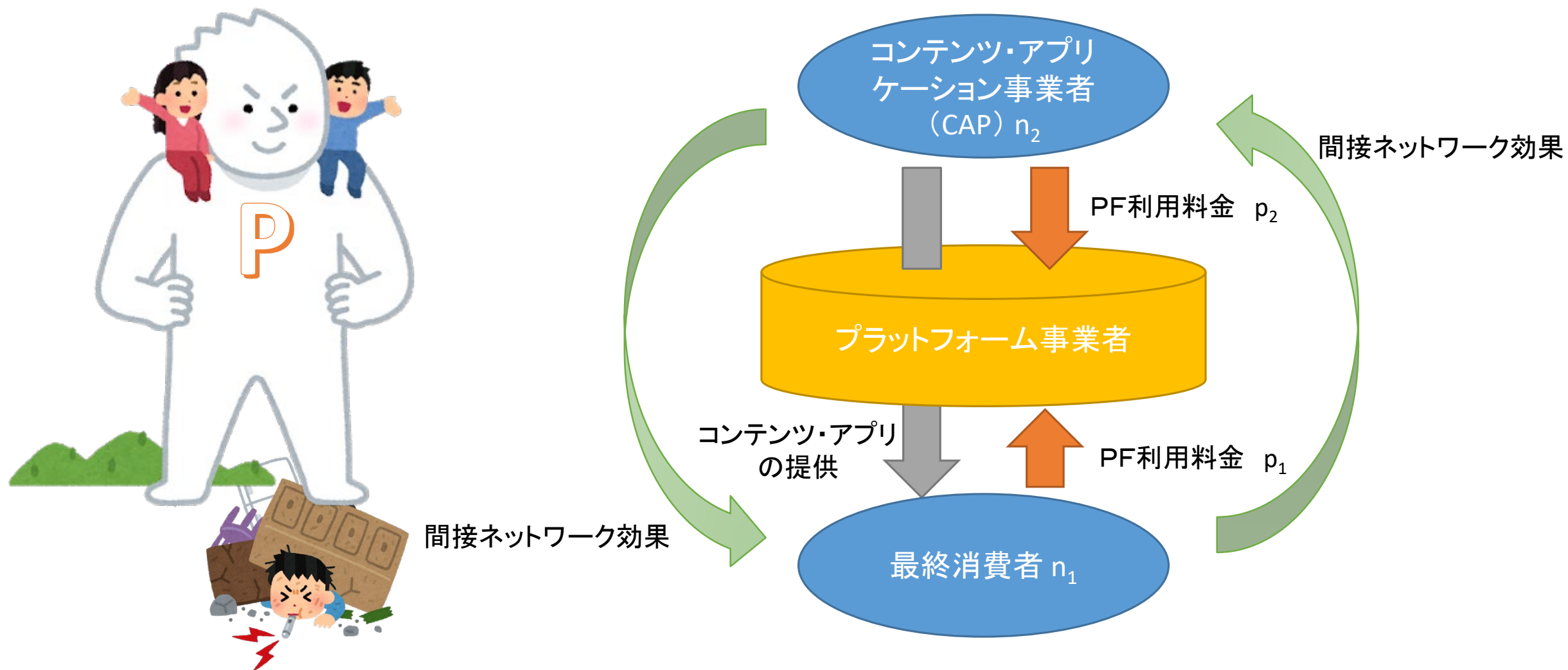
社会科学の分野における先行研究

TPRC（電気通信政策会議）およびITS（国際電気通信学会）では常にネット中立性に関するセッションが構成され、多数の論文が報告されている。

- 日本からの報告は希少。

- 理論分析：垂直統合による非効率性の発生可能性に着目した分析
 - One monopoly rent theorem（単一独占レント定理）
 - Internalizing Complementary Efficiencies（補完財効率性の内部化）
- 実証分析
 - 日本を含む各国において様々な試みが実施
- 経済モデルによる分析
 - さまざまな前提条件のもとで、均衡点における厚生損失等を計算

基本的なモデル設定



最も単純なモデルを用いたゼロプライスルール分析

モデルの仮定：ISP一社のみ

Assuming $t_1 t_2 > \delta \alpha_1 \alpha_2$ $4 t_1 t_2 > (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2$

	Zero-price rule (A)	Non-zero-price rule (B)	Impact of zero-price rule (A-B)
n1	$\frac{v_0 t_2}{2(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)}$	$\frac{2 v_0 t_2}{4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2}$	$\frac{v_0 t_2 ((\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2 + 4 \delta \alpha_1 \alpha_2)}{2(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)(4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)} > 0$
n2	$\frac{v_0 \alpha_1}{2(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)}$	$\frac{v_0 (\alpha_1 + \delta \alpha_2)}{4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2}$	$\frac{v_0 (\alpha_1 - \delta \alpha_2) (2 t_1 t_2 - \alpha_1 (\alpha_1 + \delta \alpha_2))}{2(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)(4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)}$
p1	$\frac{v_0}{2w}$	$\frac{v_0 (2 t_1 t_2 - \alpha_1 (\delta \alpha_2 + \alpha_1))}{(4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2) w}$	$\frac{v_0 (\alpha_1 + \delta \alpha_2) (\alpha_1 - \delta \alpha_2)}{2 w (4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)}$
p2	0	$\frac{v_0 t_2 (\alpha_1 - \delta \alpha_2)}{4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2}$	$-\frac{v_0 t_2 (\alpha_1 - \delta \alpha_2)}{4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2} < 0$
Total profit of CAPs	$\frac{v_0^2 t_2 \alpha_1^2}{8(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)^2}$	$\frac{v_0^2 t_2 (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2}{2(4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)^2}$	$\frac{v_0^2 t_2 (\alpha_1 - \delta \alpha_2) (2 t_1 t_2 - \alpha_1 (\alpha_1 + \delta \alpha_2)) (\alpha_1 (4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2) + 2(\alpha_1 + \delta \alpha_2) (t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2))}{8(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)^2 (4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)^2}$
Consumer Surplus	$\frac{v_0^2 t_1 t_2^2}{8(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)^2}$	$\frac{2 v_0^2 t_1 t_2^2}{(4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)^2}$	$-\frac{(\alpha_1 - \delta \alpha_2)^2 (8 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2 - 4 \delta \alpha_1 \alpha_2)}{8(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)^2 (4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)^2} < 0$
Profit of platform	$\frac{v_0^2 t_2}{4(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)} - c$	$\frac{v_0^2 t_2}{4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2} - c$	$-\frac{v_0^2 t_2 (\alpha_1 - \delta \alpha_2)^2}{4(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2) (4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)} < 0$
Total Surplus	$\frac{3 t_1 t_2 - 2 \delta \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1^2}{8(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)^2} v_0^2 t_2 - c$	$\frac{12 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2}{2(4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)^2} v_0^2 t_2 - c$	$\frac{v_0^2 t_2 \left(\frac{4 t_1^2 t_2^2 (-\alpha_1^2 + 6 \delta \alpha_1 \alpha_2 + \delta^2 \alpha_2^2)}{+ t_1 t_2 (-5 \alpha_1^4 + 4 \delta \alpha_1^3 \alpha_2 - 20 \delta^2 \alpha_1^2 \alpha_2^2 - 8 \delta^3 \alpha_1 \alpha_2^3 + 3 \delta^4 \alpha_2^4)} + \alpha_1 (2 \delta \alpha_1^4 \alpha_2 - 4 \delta^2 \alpha_1^3 \alpha_2^2 - 2 \delta^5 \alpha_2^5 + \alpha_1^5 + 4 \delta^2 \alpha_1^4 \alpha_2^2 + 5 \delta^4 \alpha_1 \alpha_2^4) \right)}{8(t_1 t_2 - \delta \alpha_1 \alpha_2)^2 (4 t_1 t_2 - (\alpha_1 + \delta \alpha_2)^2)^2}$

さまざまな要素を加味したモデル分析の結果は一意ではない

Table A.1. Literature Review

Papers	Modeling assumptions/Market conditions considered							Trade-offs considered: Findings for net neutrality case
	Market structure	Broadband market coverage	Consumer heterogeneity	CP heterogeneity	CP entry	Multi-homing (MH)/Single-homing (SH)	Network congestion	
Hermalin and Katz (2007)	ISP: Monopoly or Duopoly CP: No competition	Full	Homogeneous	Heterogeneous in consumers' valuation	Continuum of CPs with entry	Consumers MH CPs	Not modeled	• Social Welfare: Likely lower • Content Innovation: Lower
Choi and Kim (2010)	ISP: Monopoly CP: Duopoly	Full	Heterogeneous in content preference	Heterogeneous in markup	Two CPs with no entry	Consumers SH CPs	M/M/1 queuing system	• Social Welfare: Mixed • Infrastructure Investment: Higher • Content Innovation: Mixed
Guo et al. (2010)	ISP: Monopoly CP: Duopoly with ISP-CP integration	Full	Heterogeneous in content preference	Heterogeneous in revenue rate	Two CPs with no entry	Consumers SH CPs	M/M/1 queuing system	• Social Welfare: Mixed when the ISP integrates with a CP • Affiliation: Vertically integrated ISP may degrade or even prioritize competing content
Cheng et al. (2011)	ISP: Monopoly CP: Duopoly	Full	Heterogeneous in content preference	Heterogeneous in revenue rate	Two CPs with no entry	Consumers SH CPs	M/M/1 queuing system	• Social Welfare: Lower • Infrastructure Investment: Higher
Economides and Hermalin (2012)	ISP: Monopoly CP: No competition	Full	Homogeneous	Heterogeneous in congestion sensitivity	Continuum of CPs with no entry	Consumers MH CPs	Congestion modeled based on bandwidth division	• Social Welfare: Higher or lower, depending on the total traffic • Infrastructure Investment: Lower
Economides and Tåg (2012)	ISP: Monopoly or Duopoly CP: No competition	Partial	Heterogeneous in ISP preference	Heterogeneous in entry cost	Continuum of CPs with entry	Consumers MH CPs; with duopoly ISPs, CPs MH ISPs, and consumers SH ISPs	Not modeled	• Social Welfare: Higher for most parameter values
Guo et al. (2012)	ISP: Monopoly CP: Duopoly	Partial	Heterogeneous in content preference	Heterogeneous in revenue rate	Two CPs with no entry	Consumers SH CPs	M/M/1 queuing system	• Social Welfare: Lower • Content Innovation: Higher because the less effective CP may be driven out of the market without net neutrality
Krämer and Wiewiorra (2012)	ISP: Monopoly CP: No competition	Full and Partial	Homogeneous	Heterogeneous in congestion sensitivity	Continuum of CPs with entry	Consumers MH CPs	M/M/1 queuing system	• Social Welfare: Lower • Infrastructure Investment: Lower • Content Innovation: Lower (in the long run)
Guo et al. (2013)	ISP: Monopoly CP: Duopoly	Full	Heterogeneous in content preference	Heterogeneous in revenue rate	Two CPs with no entry	Consumers SH CPs	M/M/1 queuing system	• Social Welfare: Lower
Bourreau et al. (2015)	ISP: Duopoly ISP: Duopoly	Full	Homogeneous	Heterogeneous in congestion sensitivity	Continuum of CPs with entry	Consumers MH CPs and SH ISPs; CPs MH ISPs	M/M/1 queuing system	• Social Welfare: Lower • Infrastructure Investment: Lower • Content Innovation: Lower
D'Annunzio and Russo (2015)	ISP: Duopoly CP: Duopoly (including case with integrated ISP-CPs)	Full	Heterogeneous in ISP preference	Homogenous (ex ante) or heterogeneous in consumer attention	Two CPs with no entry	Consumers MH CPs and SH or MH ISPs; CPs MH or SH ISPs	Not modeled	• Social Welfare: Equal or higher, depending on degree of CP competition • Compatibility: Equal or higher; NN ensures compatibility but only if CPs are not vertically integrated
Kourandi et al. (2015)	ISP: Duopoly CP: Duopoly	Full	Heterogeneous in ISP preference	Heterogeneous in consumer valuation	Two CPs with no entry	Consumers MH CPs and SH or MH ISPs; CPs MH or SH ISPs	Not modeled	• Social Welfare: Higher, equal, or lower, depending on degree of CP competition • Compatibility: Higher, but NN does not ensure compatibility
Dewenter and Rösch (2016)	ISP: Monopoly CP: Duopoly with ISP-CP integration	Partial	Heterogeneous in valuation for content	Heterogeneous in content	Two CPs with no entry	Consumers MH CPs	Not modeled	• Social Welfare: Not considered • Affiliation: Vertically integrated ISP does not block rival CP if it offers differentiated content and if the loss in own network effects is not too strong

Table A.1. Literature Review

Papers	Modeling assumptions/Market conditions considered							Trade-offs considered: Findings for net neutrality case
	Market structure	Broadband market coverage	Consumer heterogeneity	CP heterogeneity	CP entry	Multi-homing (MH)/Single-homing (SH)	Network congestion	
Dewenter and Rösch (2016)	ISP: Monopoly CP: Duopoly with ISP-CP integration	Partial	Heterogeneous in valuation for content	Heterogeneous in content	Two CPs with no entry	Consumers MH CPs	Not modeled	• Social Welfare: Not considered • Affiliation: Vertically integrated ISP does not block rival CP if it offers differentiated content and if the loss in own network effects is not too strong
Guo and Easley (2016)	ISP: Monopoly CP: No competition	Partial	Heterogeneous in content valuation	Heterogeneous in congestion sensitivity	Continuum of CPs with entry	Consumers MH CPs	Congestion modeled based on bandwidth division	• Social Welfare: Lower • Content Innovation: Higher
Peltz and Schuett (2016)	ISP: Monopoly CP: No competition	Full	Homogeneous	Heterogeneous in congestion sensitivity	Continuum of CPs with no entry	Consumers MH CPs	Congestion modeled as probability of on time delivery of content	• Social Welfare: Lower
Roggiani and Valletti (2016)	ISP: Monopoly, one large CP and many small CPs	Full	Homogenous	Heterogeneous in number of content (large vs. small) and development costs for content	Continuum of CPs with entry	Consumers MH CPs	M/M/1 queuing system	• Social Welfare: Lower or higher, depending on ad revenue rate • Content Innovation: Higher for small CPs, lower or higher for large CP • Infrastructure Investment: Lower or higher, depending on innovation outcome
Broos and Gautier (2017)	ISP: Monopoly and Duopoly CP: Duopoly	Full (for welfare analysis)	Heterogeneous in content preference	Heterogeneous in content and quality	Two CPs with no entry	Consumers SH CPs	Not modeled	• Social Welfare: Higher or lower • Affiliation: Vertically integrated ISP does not block rival CP if it is valuable to consumers
Guo et al. (2017)	ISP: Duopoly CP: Duopoly	Full	Heterogeneous in content and ISP preference	Heterogeneous in revenue rate	Two CPs with no entry	Consumers SH CPs	M/M/1 queuing system	• Social Welfare: Lower • Content Innovation: The dominant CP may be worse off

Notes. The modeling assumptions and thus the considered market conditions of the papers listed here vary with respect to several dimensions as reflected in the columns above.

- First, different market structures are assumed that consider either monopolistic or duopolistic ISPs and/or CPs as well as vertically integrated or nonintegrated ISPs. If vertically integrated ISPs are considered, the focus of the analysis is on studying the ISPs' incentives to sabotage rival CPs' content (Trade-off 1).
- Second, many papers assume full market coverage, in which case consumer entry cannot be considered.
- Third, some papers assume that consumers are homogeneous whereas others assume that consumers are heterogeneous. In the latter case, it is with regard to their preferences for either ISP or content.
- Fourth, CPs may either be considered as homogeneous or are treated as heterogeneous in one (and only one) respect, which varies from markups, revenues, and entry costs, to congestion sensitivity and consumer valuation. Thus, the impacts of traffic management mechanisms on different CPs vary. Note that when modeling heterogeneous CPs or consumers, all papers in the literature consider CPs or consumers to be heterogeneous along one dimension and the same along all other dimensions.
- Fifth, some papers take the number of active CPs in the market to be fixed whereas others allow for entry and exit of CPs in response to changing market conditions.
- Sixth, depending on the market structure, consumers (CPs) may multi-home or single-home CPs (ISPs). In cases where CPs form a duopoly, CP entry is not considered, and consumers usually single-home CPs, meaning they acquire content from just one CP. Where there is a continuum of CPs, the possibility of CP entry is sometimes accounted for, and consumers multi-home CPs. At the same time, consumers usually single-home ISPs, but sometimes consumers are also allowed to multi-home ISPs. Likewise, CPs are usually assumed to multi-home ISPs, but sometimes CPs may also single-home ISPs, which then leads to Internet fragmentation as not all content is available at every ISP.
- Finally, congestion is an important issue as a major motivation for packet prioritization, and some papers incorporate it, typically with a standard M/M/1 queuing model. Recent efforts using a bandwidth division approach to model prioritized "fast lanes" enable further examination of congestion externalities that captures consumers' strategic response to congestion; that is, consumer demand is reduced in response to increased congestion.

Source: Easley, Guo, and Krämer (2018)

ネット中立性維持が資源配分上有利なのか否かは一意には決定できない。

日本型モデルにおける基本的なモデル設定からの乖離

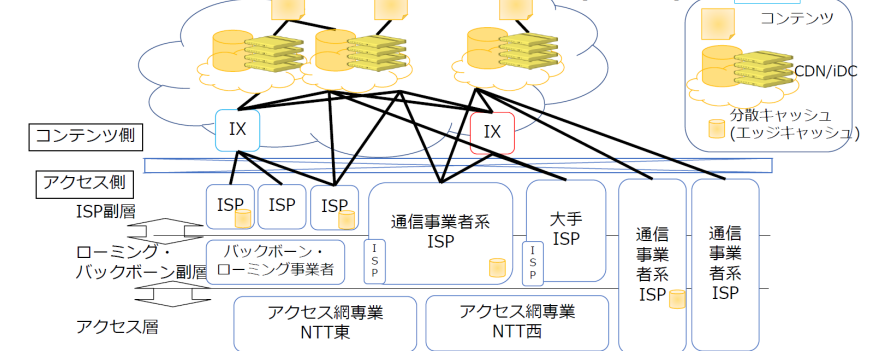
現実にはさらに複雑

- プラットフォーム層について水平分離型（固定BB）と垂直統合型（モバイルBB）が共存
- ISP層と物理網層の存在
 - 固定BBでは二層独立、モバイルBBでは統合
 - 長期的にはモバイルBB型への統合
 - ISPを選択可能なビジネスモデルと、そうでないビジネスモデルの共存

その他の乖離要因

- CAP層までを一括したケーブルテレビモデル
 - 地上波・NHKなどの独立系CAPは許容
- 物理網層以外による市場支配力の獲得
 - GAFA
 - 有力コンテンツ

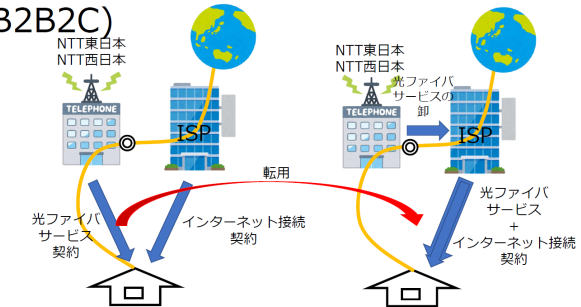
日本のインターネット構造(現状)



MNO3社のFMC的セット割



光コラボレーション：卸サービス (B2B2C)



研究方法

モデルを解析的に解く方法の制約。

1. 計算可能性
2. モデル自体の複雑性の不足
3. 適切なパラメーター設定

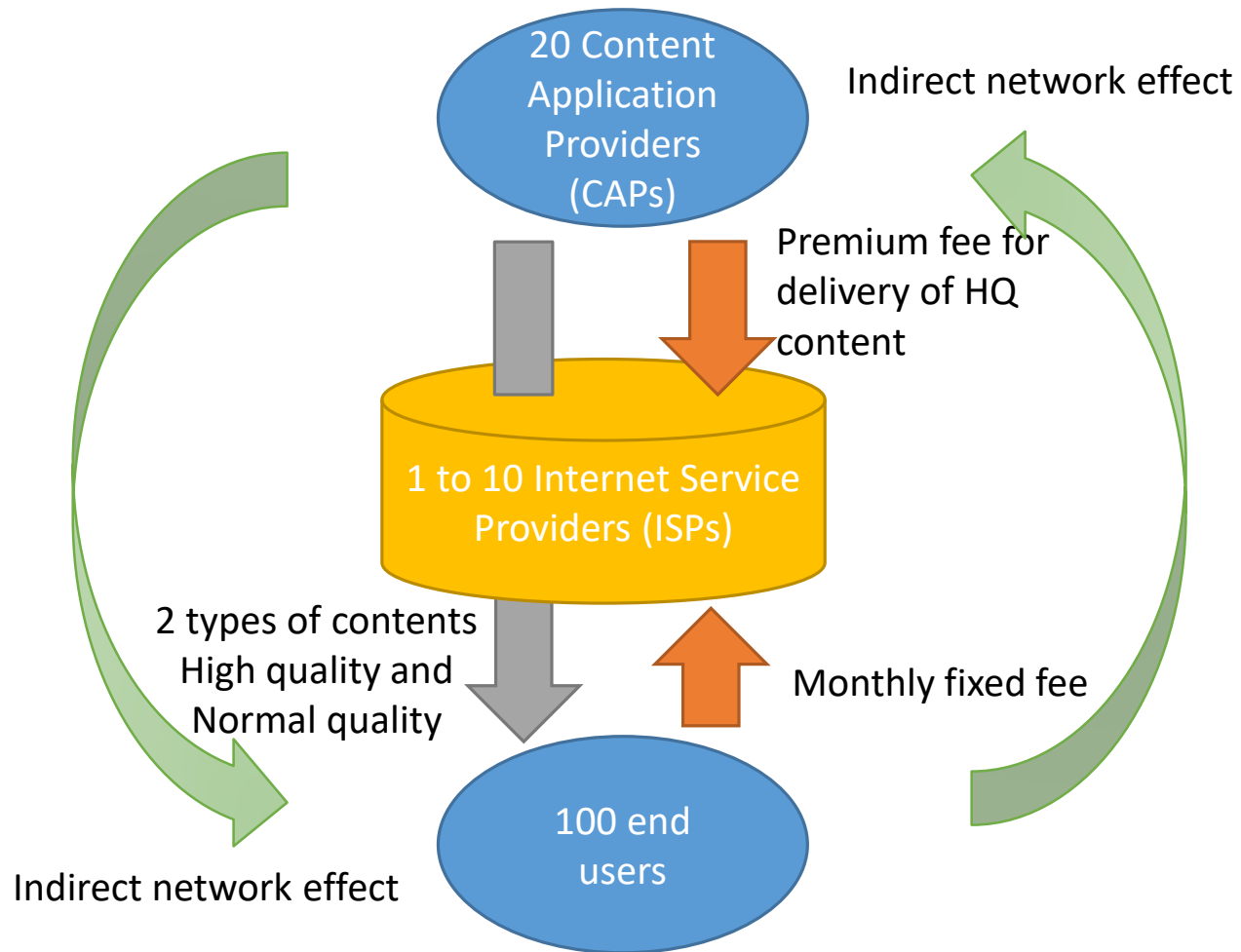
本研究では、1 および 2 の問題への対処を目指す。

- シミュレーション手法による計算不能性の克服
- モデルにある程度の複雑さを許容したモデルの構築
 - ISPの数を変更することで、ネットワーク市場の寡占性の影響を評価することが可能



現状のブロードバンドエコシステムを、コンテンツ・アプリケーション事業者（CAP）、インターネット事業者（ISP）、一般利用者（USER）の三レイヤ構造として単純化し、それぞれについて一定の行動準則を外生的に与えたうえで、マルチエージェント・シミュレーション・モデルを記述した。そのうえで、各レイヤの平均的行動を分析・評価した。

分析モデル



The screenshot shows the Eclipse IDE with the `NetNeutralityModel.java` file open. The code defines a `main` method and a `NetNeutralityModel` class. The console output shows the execution results, including the initialization of the model and the calculation of various metrics.

```
static public void main(String[] args) {  
    NetNeutralityModel sm = new NetNeutralityModel(2, 2, 10);  
    sm.start();  
}  
  
List<ContentsProvider> cpList;  
List<InternetServiceProvider> isplst;  
List<User> userList;  
  
Optimizer optimizer;  
  
/**  
 * @param cpNum  
 * @param ispNum  
 * @param userNum  
 */  
public NetNeutralityModel(int cpNum, int ispNum, int userNum) {  
  
    ...  
  
}
```

Console Output:

```
<終了> NetNeutralityModel [Java アプリケーション] C:\usr\ eclipse\jre\bin\javaw.exe (2019/05/18 0:16:58)  
3.552 InternetServiceProvider [networkScale=0.176, cpPrice=1.376, userPrice=0.435]  
  
-255.933 User:CP:[0.836-0.579,0.000],[0.800-0.337,1.000],ISP:0.302,0.216,  
-255.983 User:CP:[0.640-0.354,0.000],[0.256-0.086,1.000],ISP:0.302,0.216,  
-255.956 User:CP:[0.465-0.237,0.000],[0.530-0.218,1.000],ISP:0.302,0.216,  
-255.843 User:CP:[0.749-0.137,0.000],[0.837-0.784,1.000],ISP:0.302,0.216,  
-255.933 User:CP:[0.419-0.059,0.000],[0.590-0.334,1.000],ISP:0.302,0.216,  
-255.975 User:CP:[0.473-0.394,0.000],[0.631-0.124,1.000],ISP:0.302,0.467,  
-255.857 User:CP:[0.341-0.053,0.000],[0.984-0.715,1.000],ISP:0.302,0.216,  
-255.923 User:CP:[0.839-0.605,0.000],[0.874-0.384,1.000],ISP:0.302,0.216,  
-255.962 User:CP:[0.501-0.106,0.000],[0.826-0.191,1.000],ISP:0.302,0.216,  
-255.972 User:CP:[0.599-0.299,0.000],[0.569-0.142,1.000],ISP:0.302,0.216,  
-0.200 ContentsProvider [lowQualityCost=0.1, lowReward=0.1, highQualityCost=0.5, highReward=0.6, conversion  
-0.200 ContentsProvider [lowQualityCost=0.2, lowReward=0.2, highQualityCost=0.6, highReward=0.7, conversion  
2304.000 InternetServiceProvider [networkScale=0.290, cpPrice=196.600, userPrice=256.000]  
256.000 InternetServiceProvider [networkScale=0.024, cpPrice=196.600, userPrice=256.000]
```

設定：3種類のプレイヤー（agent）

1. コンテンツ・アプリケーション事業者（CAP）：広告モデル+ α

- 行動
 - 制作（提供）コンテンツはHQコンテンツもしくはLQコンテンツ。
 - 視聴者嗜好への対応パラメータはランダム（一様分布）に設定
- 収入
 - 広告収入は視聴ユーザーの視聴時間に比例：総視聴時間（ $\sum t_i$ ） $\times a_0$ （Conversion Rate）
 - HQコンテンツを提供する場合、視聴者数に比例して追加収入を獲得：視聴者数 $\times a_9$ （Reputation Rate）
- 費用
 - コンテンツ作成コストは一様（視聴者数とは無関係）。
 - コンテンツ作成コスト（固定費）：LQ一つあたり a_1 （LC Cost）、HQ一つあたり a_2 （HC Cost）
 - HQコンテンツ配信コスト：配信先ISP毎に a_3 （ISP-CP Price）が発生。配信コストは視聴者数とは無関係
- 利潤最大化を目指して、HQコンテンツを提供するISPを選択
 - 選択においてはISPによる料金設定と、他のCAPの決定を所与として考え、USERの行動については自身の行動による影響を完全に予想。

設定：3種類のプレイヤー（agent）

2. ネットワーク事業者（ISP）：二面市場をベースとしたサブスクリプションモデル

- 通信容量について一定の限度が存在。ISP0が最大。以下、線形に減少。通信容量に応じてHQを視聴可能なUSERの数が限定。
 - USER集中が通信容量を超えたら、輻輳により全コンテンツがLQに低下。
 - CAPがHQコンテンツとしてISPに提供していたとしても、輻輳が発生する場合、実際の配信はLQ
 - ブロッキングが可能な場合、通信容量に比例して、CAPからのHQコンテンツの受け入れ可能数を制限。
- 収入
 - B2B市場：受け入れHQコンテンツ毎に α_3 (ISP-CP Price)、LQコンテンツは無償受入れ
 - B2C市場：USERに対して「月額利用料」を課金：USER一人当たり収入 α_4 (ISP-USER Price)
- 費用
 - 通信容量維持コスト：通信容量一単位に対して α_7 (ISP Fixed Cost)（通信容量に比例した固定費）
 - USER収容や、CAPからのコンテンツの受け入れに伴う費用は発生しない。
 - 全ユーザーに全コンテンツを配信している想定（すくなくともLQ以上の品質は確保）
 - HQコンテンツをゼロレーティング下で提供した場合（LQコンテンツには提供不可）は当該ISPの契約USER数 n の平方根に応じたコストが発生：単位コスト： α'_6 (ZR Cost)、発生コスト総額： $\alpha'_6 \times \sqrt{n}$
- 利潤最大化を目指して、CAPと利用者に対する課金水準を選択
 - 収入はHQを提供するCAP数と、自身と契約するUSER数に応じて比例的に増加
 - 選択においては他のISPの決定を所与として考え、CAPおよびUSERの行動については自身の行動による影響を完全に予想。

設定：3種類のプレイヤー（agent）

3. 視聴者（USER）：純便益最大化モデル

- 視聴者の個性はコンテンツに対する嗜好パラメータに反映
 - 各コンテンツに対する好み (v_i) はランダムに設定。
 - 好みに合致するコンテンツは一つ ($0.9 \leq v_i \leq 1.0$)、それ以外については、 $0.0 \leq v_i \leq 0.1$
- 1人当たりの合計視聴時間は所与、コンテンツへの好悪は視聴時間に反映
 - 個々のコンテンツへの視聴時間 (t_i) は、 v_i に応じて比例配分： $t_i = \frac{v_i}{\sum v_1}$
- 便益
 - コンテンツ視聴から得られる便益： $\alpha_5 \sum_{LQ \text{ contents}} t_i + 2\alpha_5 \sum_{HQ \text{ contents}} t_i$
 - LQコンテンツから得られる時間あたり便益： α_5 (LC Reward)
 - HQコンテンツが、HQ品質で配信された場合はLQコンテンツ視聴の二倍の便益 ($2\alpha_5$)
 - HQコンテンツがゼロレーティング対象なら（HQ品質で配信されているか否かに関わらず）得られる便益： α_6 (ZR User Reward)
- 費用
 - ISPに対する月額支払い： α_4 (ISP – USER Price)
 - 契約先ISPを変更する場合にはスイッチングコストが発生： α_8 (Switching Cost)
- 純便益最大化を目指して、どのISPと契約するかを決定
 - ISPやCAP、他のUSERの行動については所与として意思決定
 - どのISPとも契約しないことも可能

Agent間の競争進行シナリオ

Step0

- Step 0-1 : ISPが課金水準をランダムに設定
- Step 0-2 : UserがどのISPと契約しているのかをランダムに決定

Step1

- Step 1-1 : ISPが課金水準を決定（変更幅は前回設定値から最大 $\pm 20\%$ ）
- Step 1-2 : CAPがHQを出すISPを決定
- Step 1-3 : USERが契約先ISPを選択し、コンテンツの視聴を行う
- Step 1-4 : CAPが...
- Step 1-5 : USERが...
- Step 1-6 : CAPが...
- Step 1-7 : ISERが...

Step2

- Step 2-1 : ISPが...

...以下、Step 100まで進行

設定パラメータ

環境パラメーター	初期値	説明
Conversion Rate $[\alpha_0]$	1.0	視聴時間当たりの広告収入
LC Cost $[\alpha_1]$	0.1	低品質コンテンツ一本当たり作成費
HC Cost $[\alpha_2]$	0.2	高品質コンテンツ一本当たり作成費
LC Reward $[\alpha_5]$	1.0	低品質コンテンツ視聴の時間当たりあたり単位便益。
HQ Reward $[2\alpha_5]$	2.0	高品質コンテンツ視聴の時間当たりあたり単位便益。
ZR User Reward $[\alpha_6]$	2.0	ゼロレーティング対象の高品質コンテンツを視聴することで得られる固定的利用者便益
ZR Cost $[\alpha_6']$ (zeroRateISPCost)	0.001, 0.01, 0.1, 1	高品質コンテンツをゼロレーティング対象とするためにISPが負担する費用（視聴者一人当たり）
ISP Fixed Cost $[\alpha_7]$	1.0	ISP事業者の固定費用
Switching Cost $[\alpha_8]$	1.0	利用者が契約ISPを変更する際に負担する費用
HQ Revenue $[\alpha_9]$ (Reputation Rate)	0.1, 1.0	高品質コンテンツの提供によりCAPに発生する視聴者一人当たり追加収入。

分析シナリオ群

1. HQコンテンツの提供可能性の有無 (Diversification in content quality)
 - HQコンテンツ提供不可【status quo】 **HQ: false**
 - CAPが提供できるコンテンツはLQのみなので意思決定ステップは必要なし。すべてのISPが全てのCAPから提供するLQコンテンツを提供するのみ
 - HQコンテンツ提供可能【HQ contents case】 **HQ: true**
2. ISPのHQコンテンツ配信への制約 (Fast lane or uneven traffic management)
 - ISPによる有料のHQコンテンツ取扱いを許容 (α_3 は正の有限値) 【Paid prioritization】 **FastLane: false**
 - 無料であればHQコンテンツの取扱いを許容 ($\alpha_3=0$ という制約) 【Next neutrality】 **FastLane: true**
3. ISPの通信容量に関する制約の顕在化
 - ISPの取扱い可能コンテンツ数に上限なし【status quo : no blocking/throttling】 **blocking: false**
 - ただし、HQコンテンツ視聴可能なUSER数は通信容量に依存し、それを超えるとLQでの配信となる。
 - ISP側で取扱い可能なコンテンツ数に上限【Blocking/Throttling】 **blocking: true**
 - 取扱い上限数は通信容量に応じて決定。どのCAPのコンテンツが対象となるのかは手番に依存
4. B2C市場におけるISPによるコンテンツ差別 (Zero-rating)
 - ゼロレーティングを提供しない ($\alpha_6=\alpha_6'=0$) 【status quo】 **ZeroRating: false**
 - 全ISPがデータ量の多いHQコンテンツに対しゼロレーティングを提供 ($\alpha_6=\alpha_6'>0$) 【zero-rating】 **ZeroRating: true**

比較シナリオ

シナリオ

通信容量制約がある場合とない場合の双方を検討

1	厳格なネット中立性 Strict Net Neutrality	ISPが全ての提供コンテンツに一切の品質格差を設定しない状況。高品質コンテンツを提供してもISP段階で他と同水準に調整されるため、CAPは高品質コンテンツを提供する意味がない
2	緩やかなネット中立性 Allow Variable Quality	ISPが提供コンテンツに品質格差を設定
3	限定されたネット中立性 Allow Blocking	ISPが自社の通信容量に応じCAPからのHQコンテンツ受け入れを一部制限（予防的輻輳管理）。容量制約がない場合は制約なし
4	ゼロレーティング Allow Zero-Rating	全ISPが受け入れたHQ品質で提供するコンテンツに対しゼロレーティングを施す状況
5	自由放任シナリオ Allow Everything	シナリオ#2 × #3 × #4

追加シナリオ

通信容量制約がない場合

4-0	ゼロレーティングなし
4-1	30%のISPだけがゼロレーティング提供
4-2	70%のISPだけがゼロレーティング提供
4-3	全てのISPがゼロレーティング提供

現実社会との対比：プレイヤー数とパラメータ設定

プレイヤー数			現実の規模、水準
CAP=20			生計を賄うことができるレベルで活動しているコンテンツ制作者はYouTuberまでカウントすれば2000人程度と推計 (https://ytranking.net/blog/archives/15364)。 動画配信プラットフォームなら8社程度(U-NEXT、Hulu、dTV、Paravi、FODプレミアム、Netflix、Amazon Prime Video、dアニメストア)
ISP=1~10			Mobile大手に絞れば3社、固定系やMVNOまでいければ19,818社(2019/3現在)
USER=100			スマホ利用者数は人口の64.7%、ネット利用者は人口の79.8%(2019/3現在)
パラメーター	初期値	現実の規模、水準	
Conversion Rate 【 α_0 】	1.0	Youtubeの場合、一再生で0.05~0.1円(https://president.jp/articles/-/33328?page=3) コンテンツ長が10分とすれば(https://lab.topica-works.com/archives/2021)、時間あたり0.3~0.6円	
LC Cost【 α_1 】	0.1	外部委託では一本あたり5万円程度(https://www.somethingfun.co.jp/video_tips/gautyu-cost)。UGCは無料	
HC Cost【 α_2 】	0.2	上記サイトによれば一本200万円	
LC Reward【 α_5 】	1.0	属人的な便益なので一般解は得られない。ただし、最低水準は1837.5円(平均年収は441万円 (https://clabel.me/incomes/24345)、月間労働時間平均は200時間(https://roudou-pro.com/columns/51/#toc_anchor-1-11)なので、時間価値は1837.5円。)高品質コンテンツは二倍という設定はJ;COMの料金設定を参考に	
ZR User Reward 【 α_6 】	0.1	2018年アンケート調査からゼロレーティングへのWTPは月額230~280円と推定	
ZR Cost【 α_{10} 】	0.01	2018年アンケート調査から実際に容量超過するのは4.5%の利用者。ZRの下で倍増すると予想して10%と想定	
ISP Fixed Cost【 α_7 】	1.0	利用者一人あたりであればデータ従量下の基本料金と同水準と推定可能。つまり、1200円	
Switching Cost【 α_8 】	1.0	Mobile契約乗換は最短30分(https://www.benefon.com/change-sb/document-time)なので、時給から考えると900円程度	
HQ Revenue【 α_9 】	0~0.01	動画視聴型のネット広告費用は、一回あたり10~数100円(https://okugoe.com/web-advertisement-cost/#douga)コンテンツ長を10分とすれば、視聴一回当たり100~1000円。	

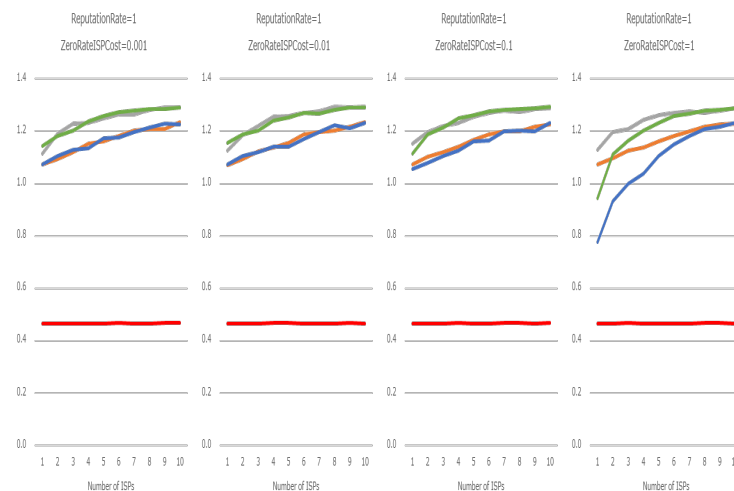
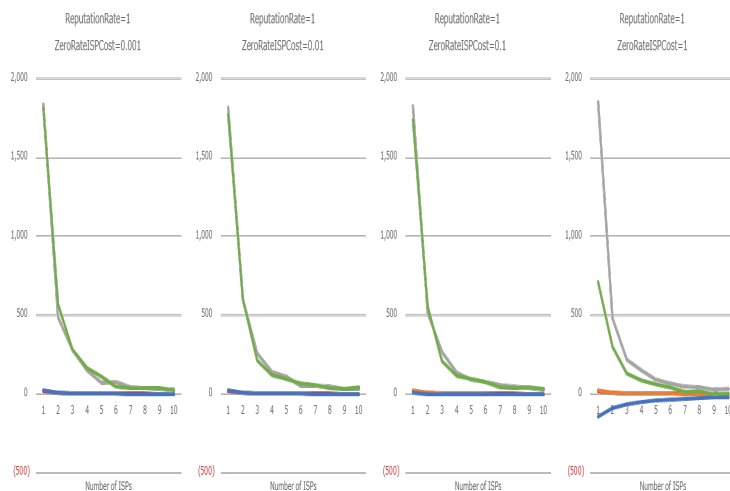
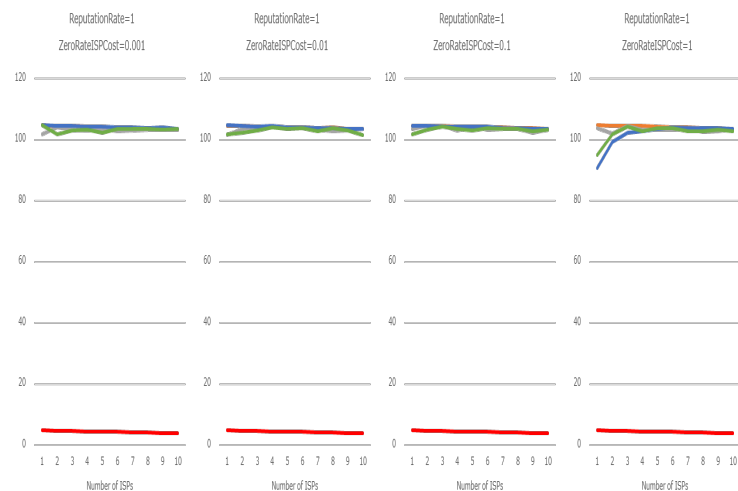
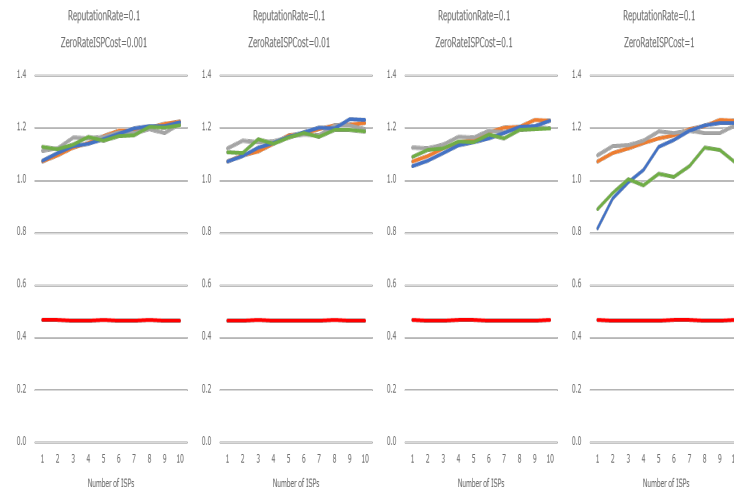
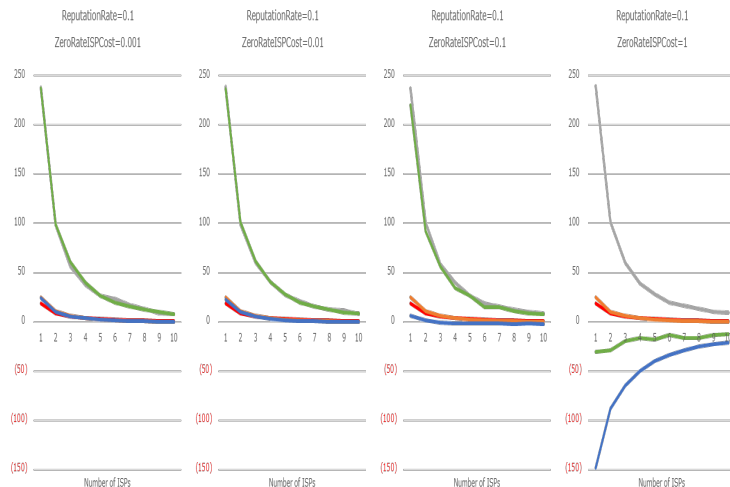
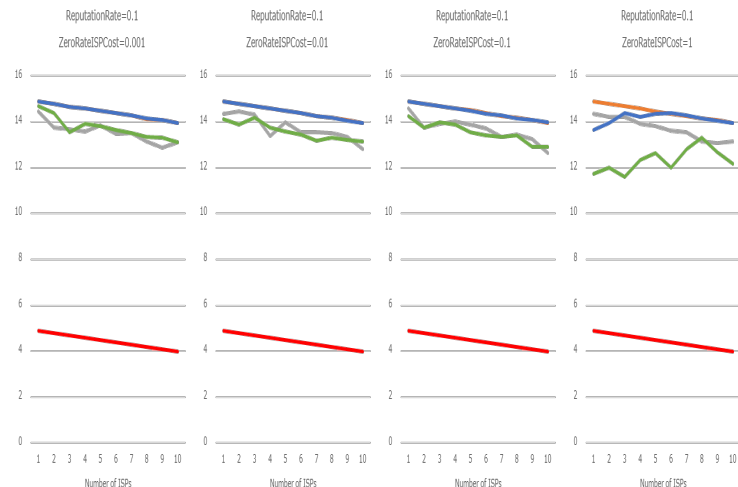
各agentの平均利潤



CAPS average reward

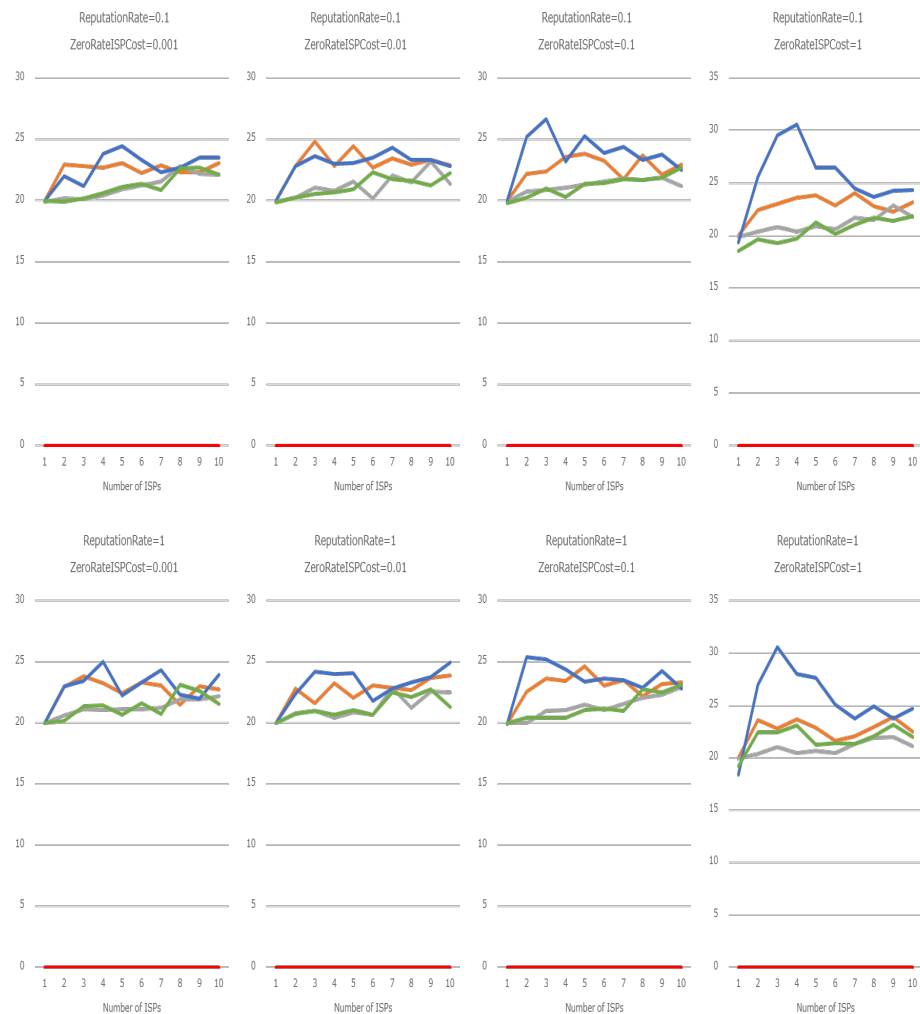
ISP average reward

USER average reward

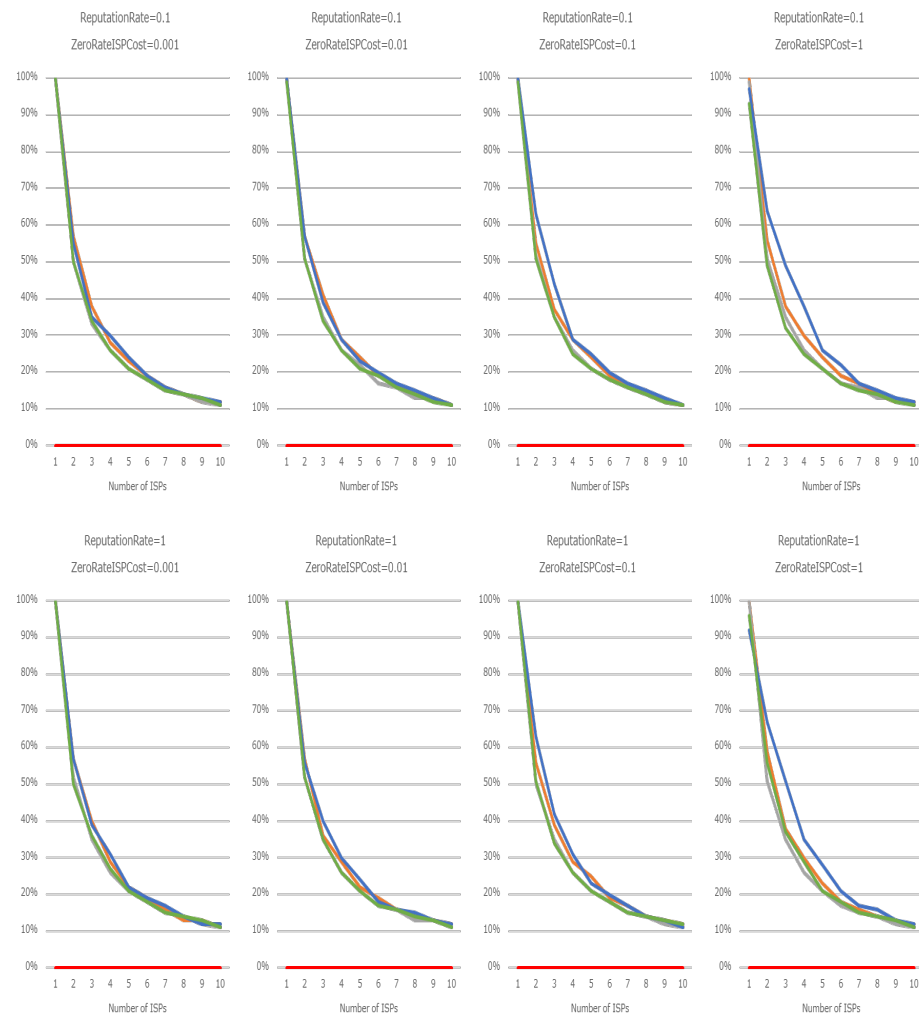


High Qualityコンテンツの数・全コンテンツに占めるシェア

Number of HQ contents



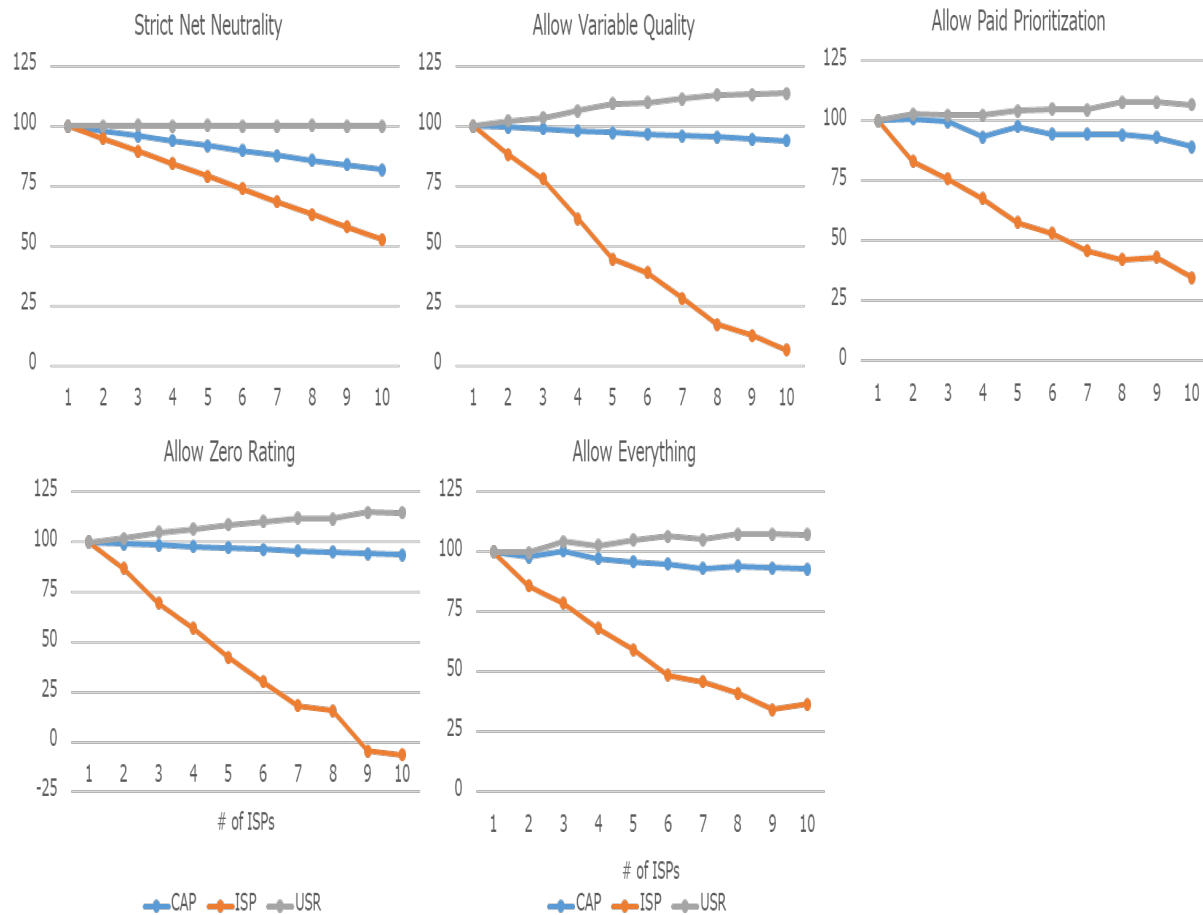
Share pf HQ contents



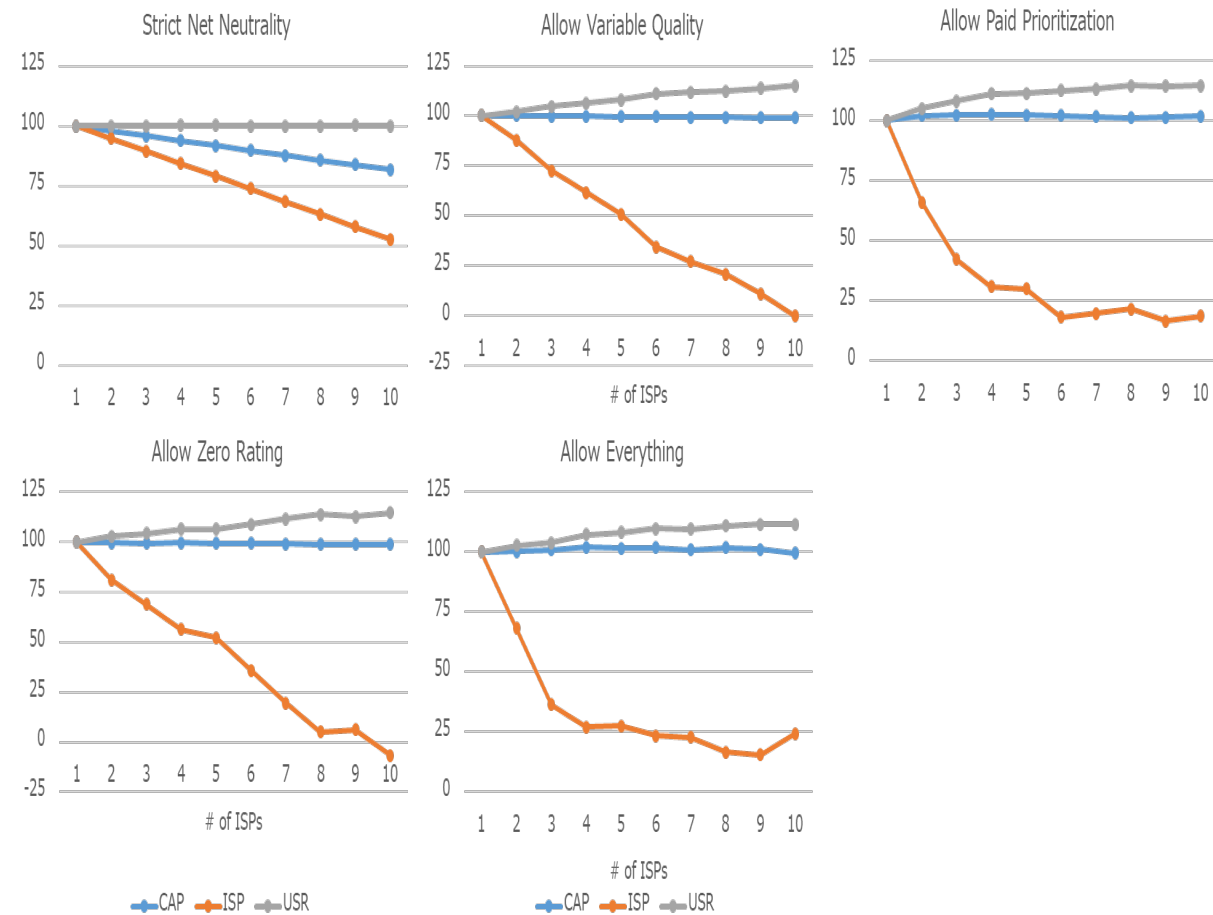
- Strict Net Neutrality
- Allow Variable Quality
- Allow Paid Prioritization
- Allow blocking ↩ 無効
- Allow zero-rating
- Allow everything

利潤・純便益のグループ毎比較 (ISP市場の競争による変化)

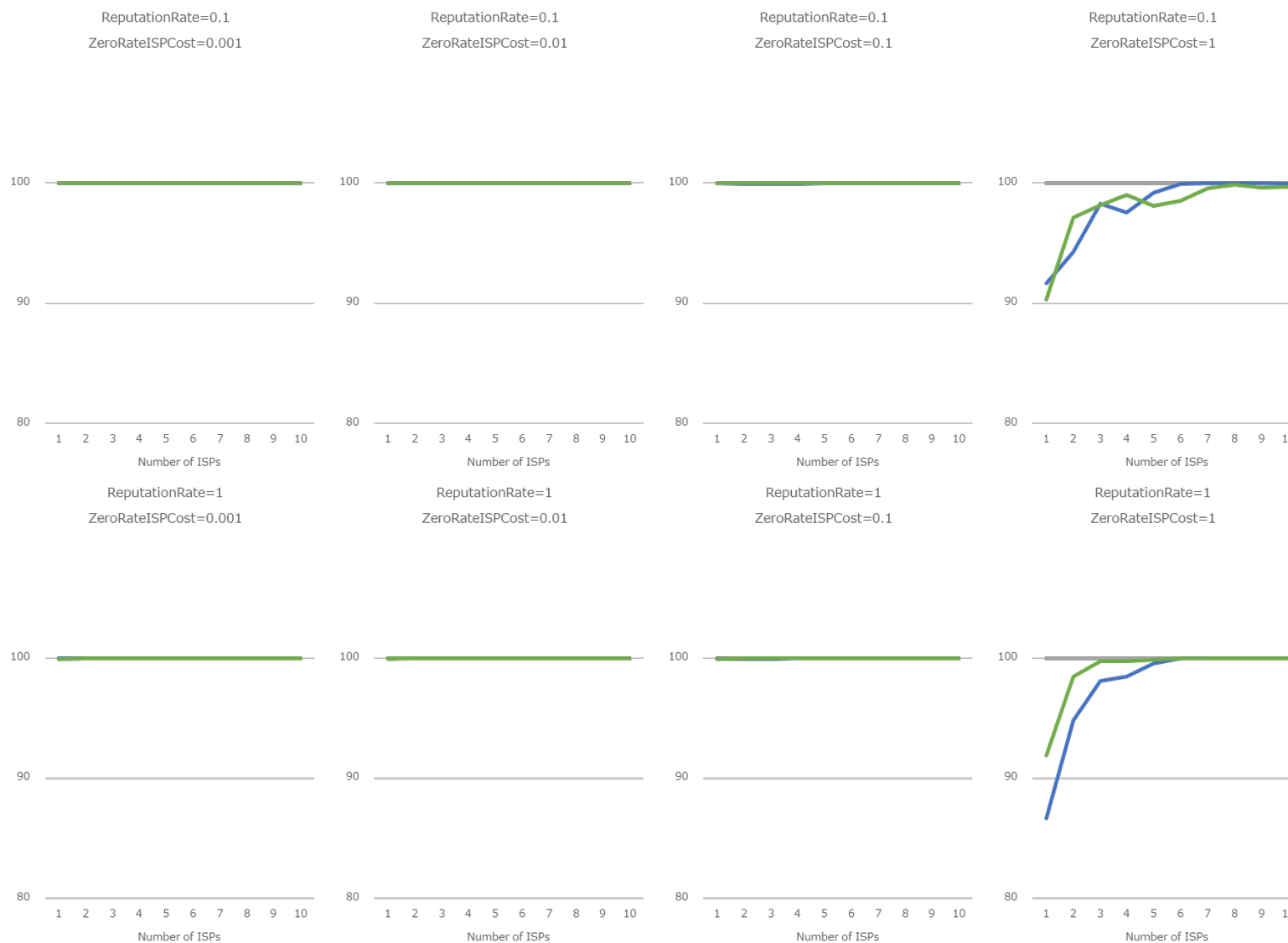
(reputationRate=0.1, zeroRateISPCost=0.01)



(reputationRate=1.0, zeroRateISPCost=0.01)

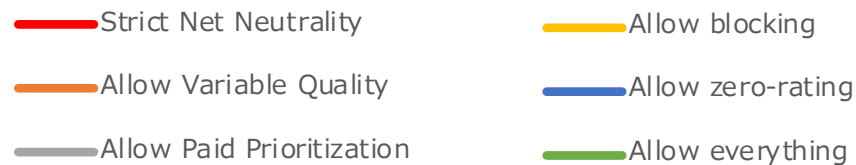


ネット利用者総数



- Strict Net Neutrality
- Allow Variable Quality
- Allow Paid Prioritization
- Allow blocking ↩ 無効
- Allow zero-rating
- Allow everything

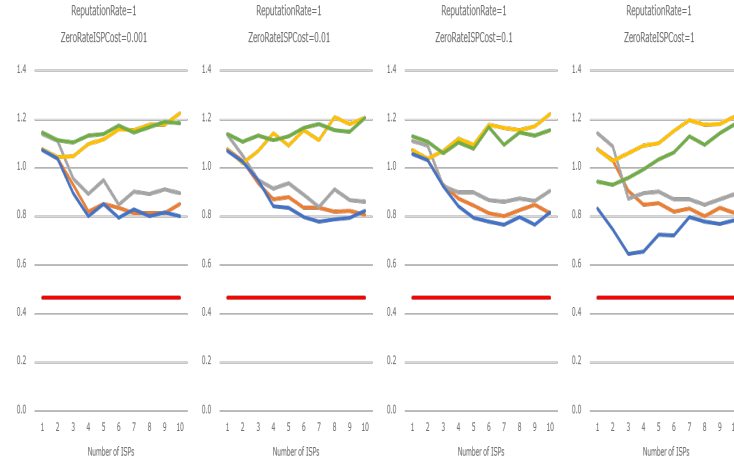
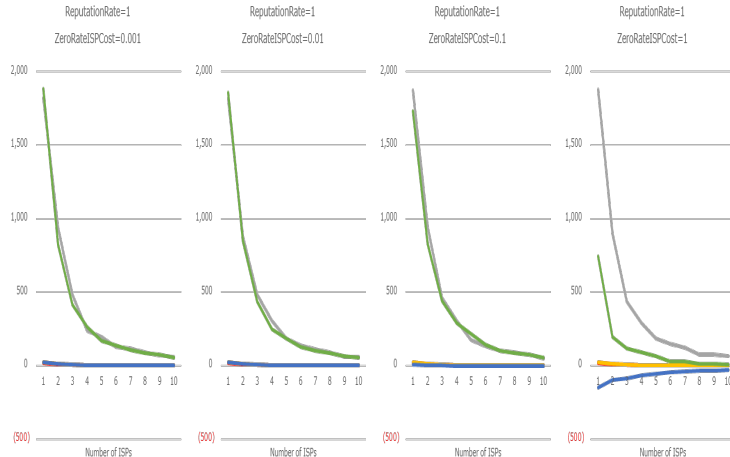
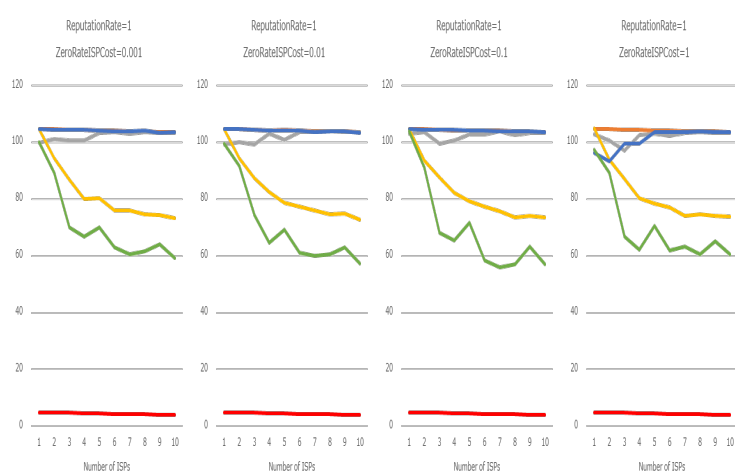
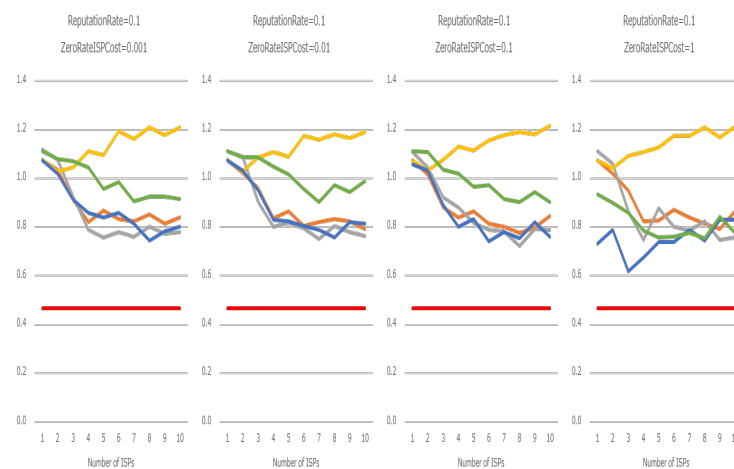
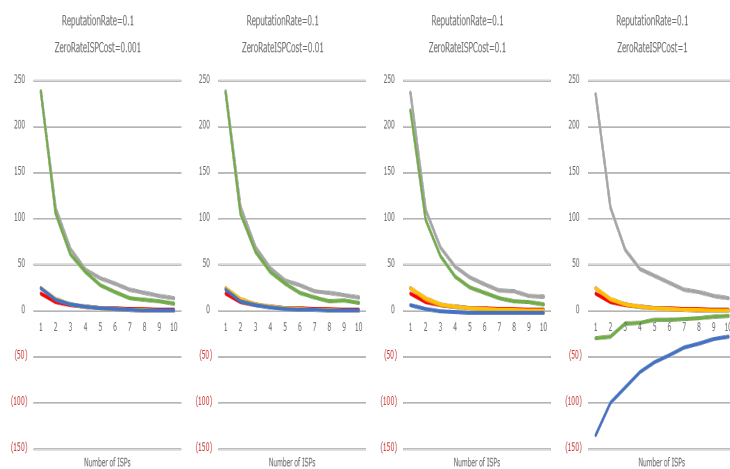
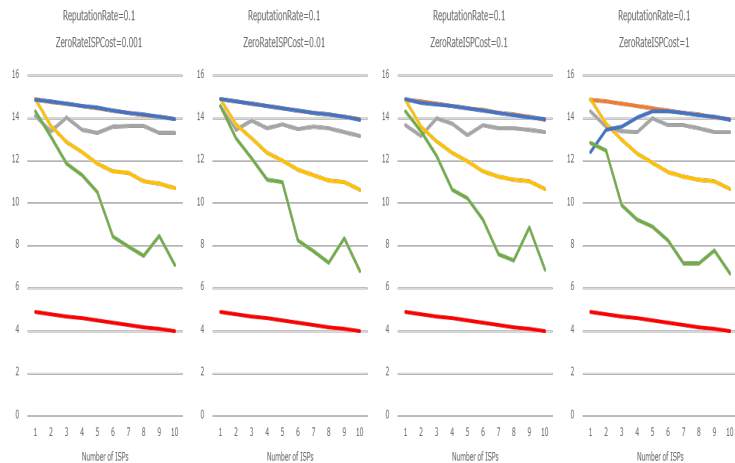
各agentの平均利潤



CAPS average reward

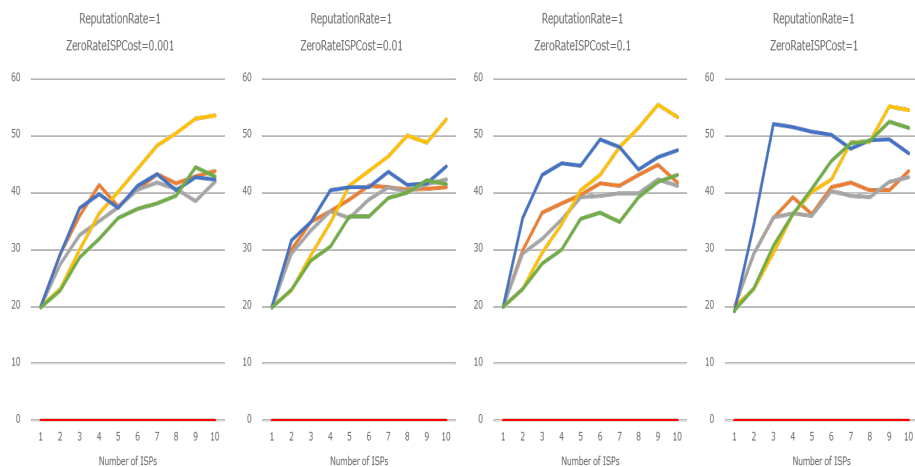
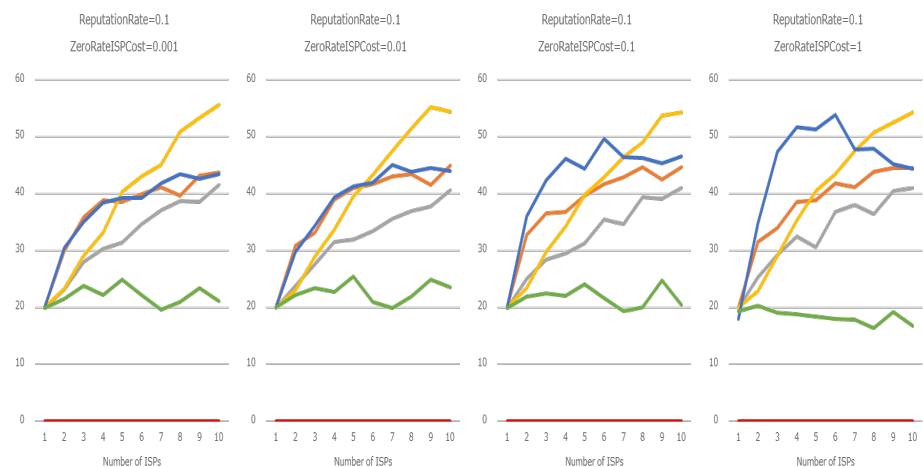
ISP average reward

USER average reward

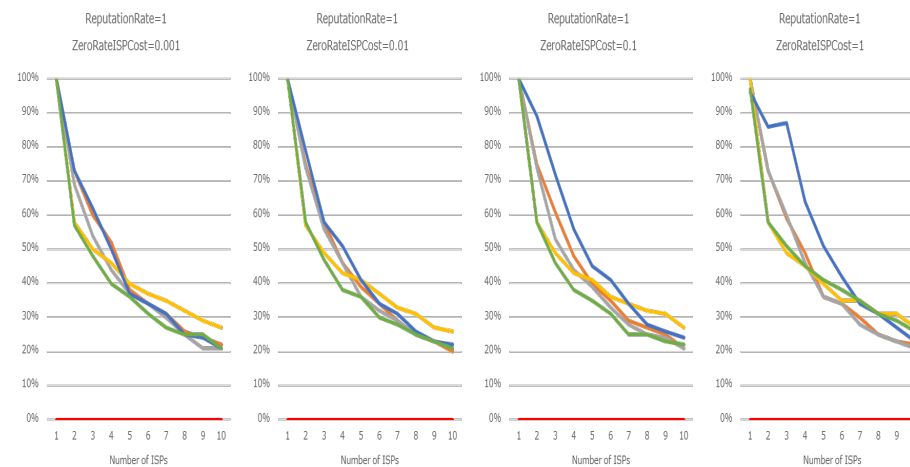
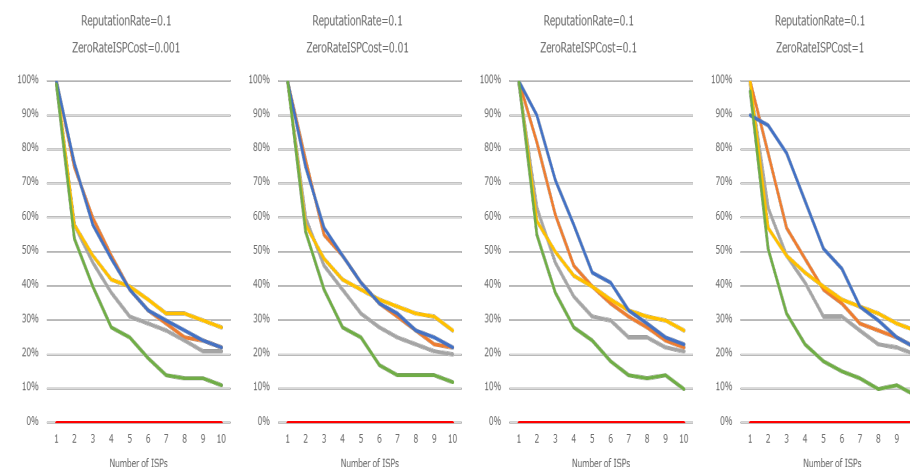


High Qualityコンテンツの数・全コンテンツに占めるシェア

Number of HQ contents



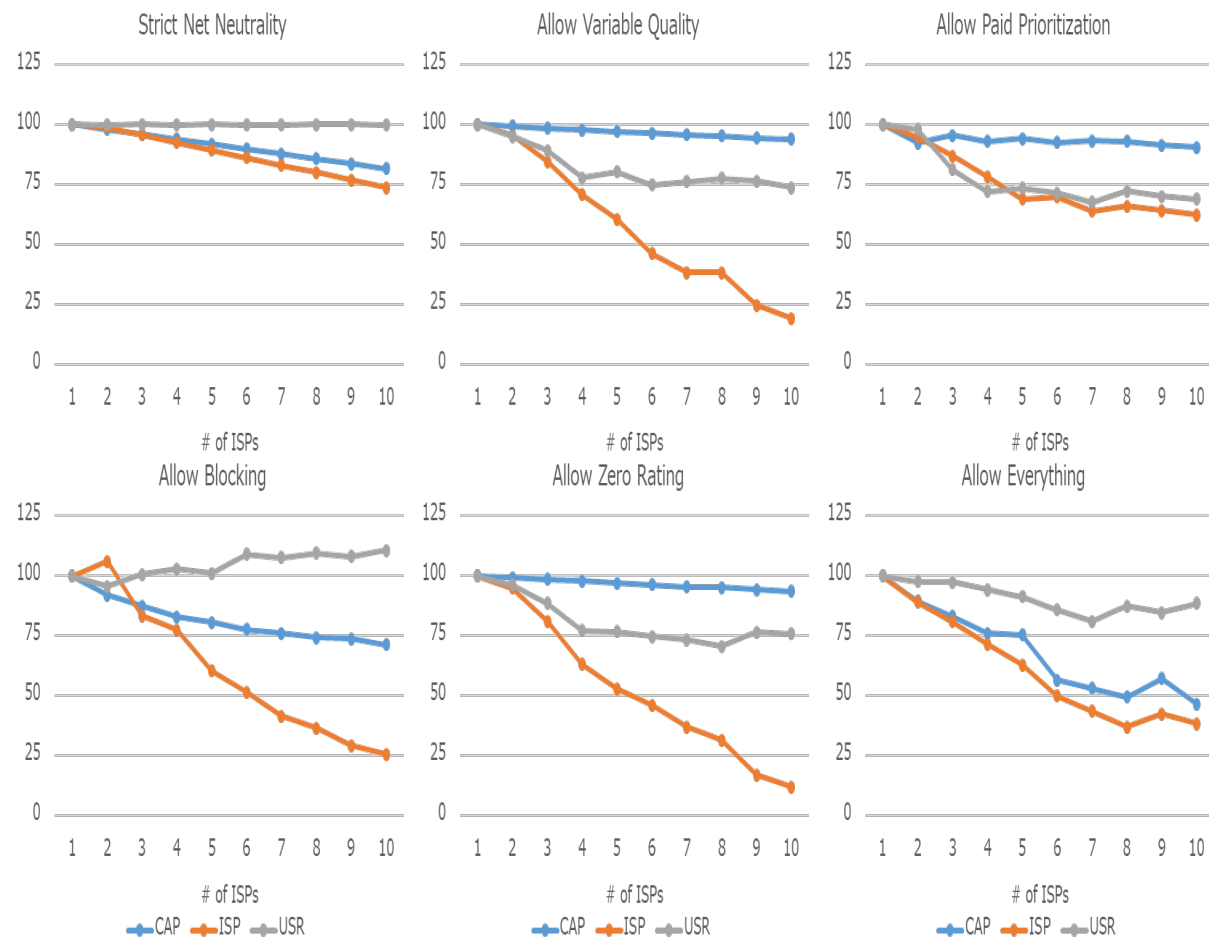
Share of HQ contents



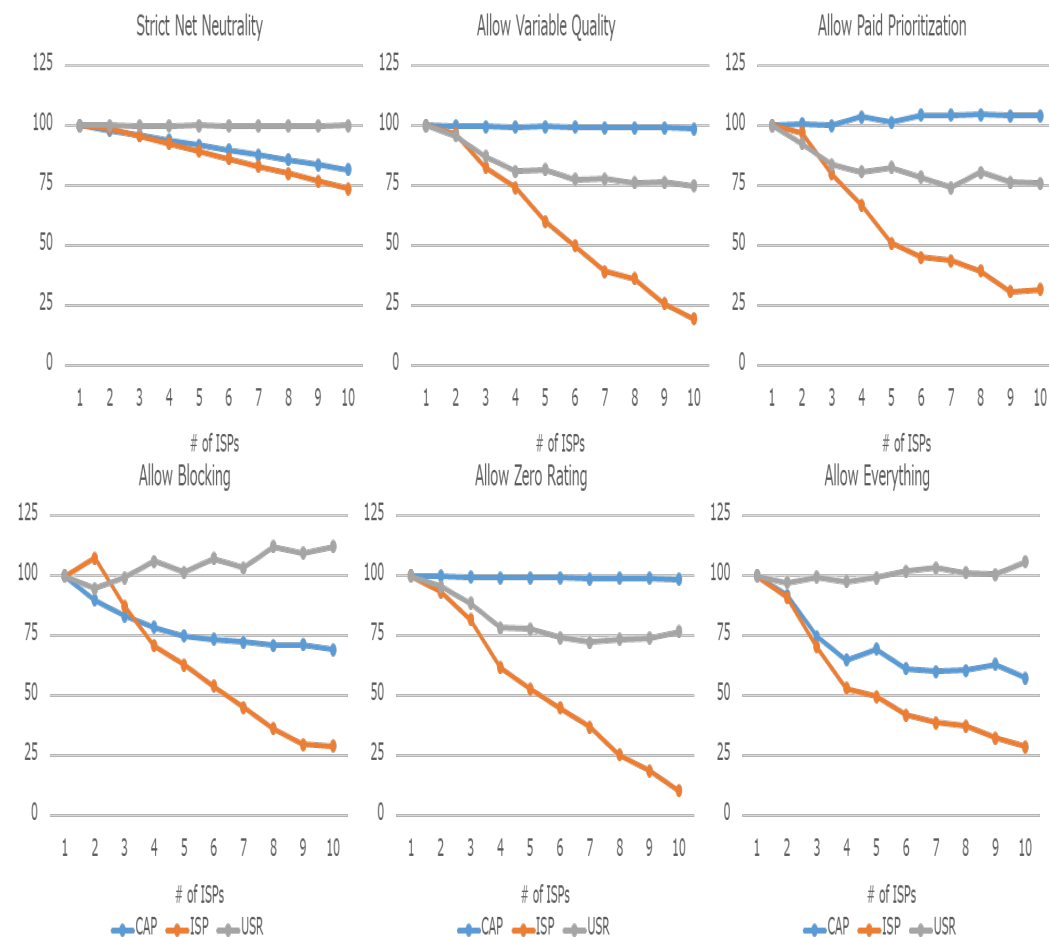
- Strict Net Neutrality
- Allow Variable Quality
- Allow Paid Prioritization
- Allow blocking
- Allow zero-rating
- Allow everything

利潤・純便益のグループ毎比較 (ISP市場の競争による変化)

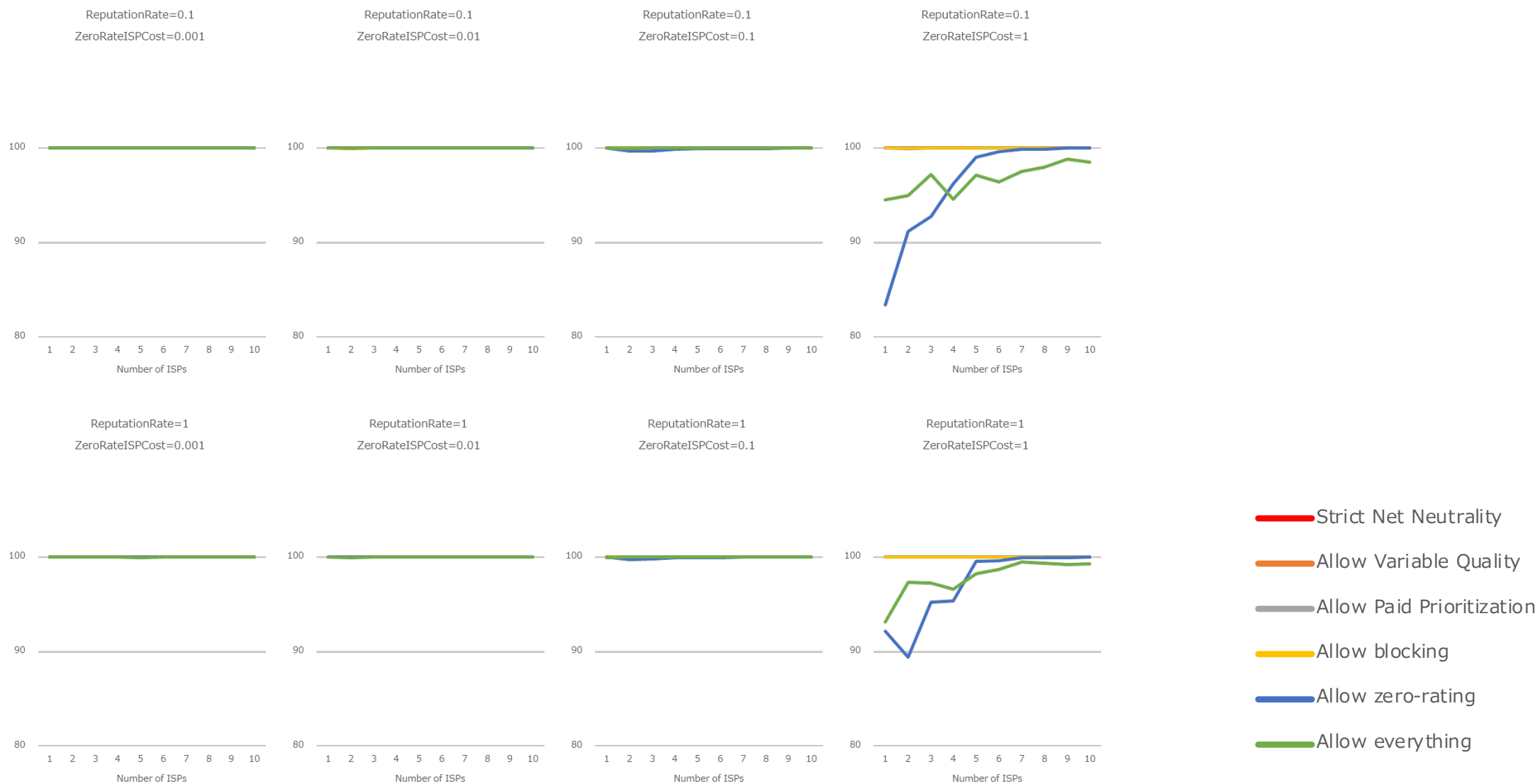
(reputationRate=0.1, zeroRateISPCost=0.01)



(reputationRate=1.0, zeroRateISPCost=0.01)



ネット利用者総数



シミュレーションZR (通信容量制約がnon-binding)

ZR

cpNum=20

ispNum=4,10

userNum=100

conversionRate=1.0

isEnabledNoISP=true

isFastLane=false

isEnabledHighQuality=true

isBlocking=false

isZeroRating=true

zeroRateISPRate=0.0,0.3,0.7,1.0

switchingCost=1

reputationRate=0.1,1.0

isZeroRateUserPayCostForHQ=false

zeroRateISPCost=0.001,0.01,0.1,1.0

zeroRateUserReward=2

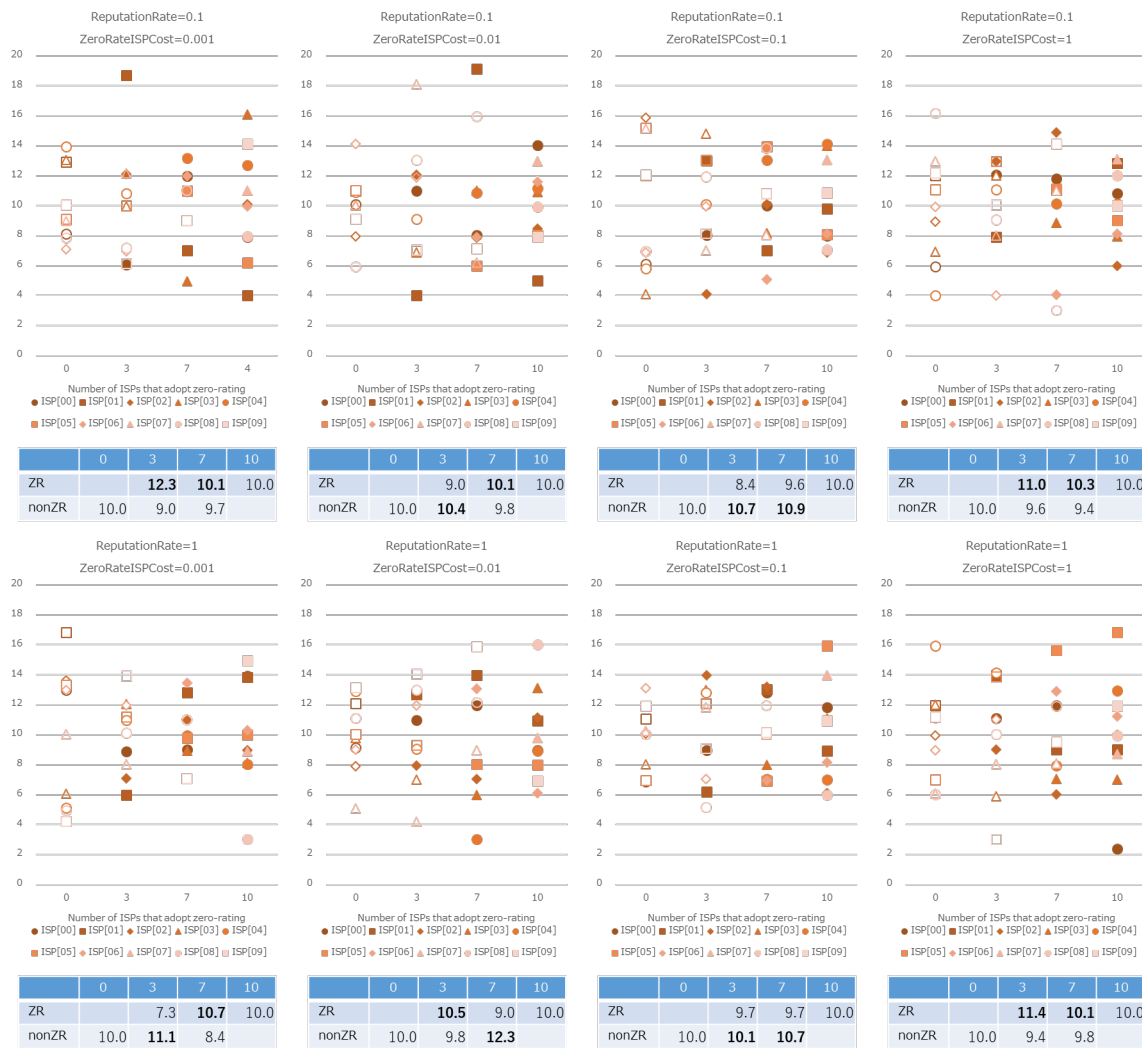
#CapacityIsNoBinding

maxNetworkScale=1.0

minNetworkScale=1.0

minNetworkScale=1.0

ISP: User



ISP各社の利潤、提供するHQコンテンツ数

ISP: Reward



ISP: HQ contents



A1モデルからの主要な知見

コンテンツ事業者

- 厳密な中立性の下でコンテンツ事業者の利潤は小さい
 - ISPによる有償優先接続、ゼロレーティングを許容すればコンテンツ事業者の利潤が増大
- ISP数が増えれば、コンテンツ事業者の利潤は低下する可能性が高い
- ISP数が増えれば、HQコンテンツ数は増えるが、バリエーション全体に占めるシェアは低下
 - ゼロレーティング導入によりHQコンテンツ数は増加

ISP事業者

- 競争増大とともに利潤はゼロに近づく
- 有償優遇接続は他と比較すれば利潤が大きい。一方、ゼロレーティングは利潤はほぼ生まない

USER

- 厳密な中立性下では、利用者はISP市場の競争の便益を受けない。
- 厳密な中立性を緩和することで、利用者はISP市場の競争から純便益を享受
 - 有償優遇接続が利用者に最大の便益を実現

余剰分析

- ISP市場の競争便益は消費者のみに発生し、コンテンツ事業者とISP自身は余剰を減少

ユビキタス性への影響

- ISP市場が独占もしくは寡占である場合は、ゼロレーティング導入で利用者がネット利用を停止する可能性がある

A2モデルからの主要な知見

コンテンツ事業者

- 厳密な中立性の下でコンテンツ事業者の利潤は小さい
 - ISPによる有償優先接続、ゼロレーティングを許容すればコンテンツ事業者の利潤が増大
- ISP数が増えれば、コンテンツ事業者の利潤は低下する可能性が高い
- ISP数が増えれば、HQコンテンツ数は増えるが、バリエーション全体に占めるシェアは低下
 - ゼロレーティング導入によりHQコンテンツ数は増加
 - **ISP数が多くなれば、ブロッキングによりHQコンテンツは最大水準になる**

ISP事業者

- 競争増大とともに利潤はゼロに近づく
- 有償優遇接続は他と比較すれば利潤が大きい。一方、**ブロッキングとゼロレーティング**は利潤はほぼ生まない

USER

- 厳密な中立性下では、利用者はISP市場の競争の便益を受けない。
- ブロッキングを容認すれば利用者はISP市場の競争から純便益を享受
 - **他の方策であれば、ISP数が増えれば利用者の便益は低下**

余剰分析

- ISP市場の競争便益はブロッキング容認下の消費者のみに発生。他は競争によりすべてのプレイヤーの余剰が減少

ユビキタス性への影響

- ISP市場が独占もしくは寡占である場合は、ゼロレーティング導入で利用者がネット利用を停止する可能性がある

ZRモデル

- ゼロレーティングの提供できるISPを一部事業者に限定すると、パラメータ設定によってISPの平均リワードが大きく変化する
- ゼロレーティングを提供する事業者と提供しない事業者のどちらが市場シェアを獲得するか、いくつのコンテンツをHQ提供するかはパラメータ設定の水準で左右される
- ISP各社が獲得する利潤はゼロレーティングを提供しない事業者の方が高水準になる場合がある。

シミュレーション結果

得られているシミュレーションの結果によると、厳しいネット中立性ルールの保持は誰にとってもメリットを生まない。

- 。どの主体にとっても、ネット中立性からの乖離を容認することがメリットとなる。

ISP市場において競争を増加させることは、ISPの容量制約がない場合は、ISPやコンテンツ事業者から利用者に便益を移転させる。容量制約がある場合は、競争導入を進めることで利用者も含め全てのプレイヤーの便益を損なう可能性がある。

ゼロレーティングについては、パラメータによってはブロードバンド利用者数自体を減少させる可能性があるが、ISP事業者の数が多い場合にはその心配はない。

ゼロレーティングを提供する事業者と提供しない事業者が混在する場合、ゼロレーティングがもたらす限界収入や、その提供に必要な限界費用の水準によってISPの競争優位が異なる。

結論

ネット中立性に関して実施されてきたモデル分析はこれまでプレイヤー数とシナリオが極めて限定的であった。それに対し、本研究で提案する手法は、コンピューティングパワーの許す限り、はるかに複雑なモデルから数値的な結論を得ることができ、最適なネット中立性ルールをめぐる議論に大きな前進をもたらすことが期待できる。

今後の課題

- 適切なパラメータの設定
- モデル構造の見直し

Jitsuzumi (2020)他との議論との違い

これまでの議論

- 長期の議論：産業構造は可変
 - 議論の焦点は、ボトルネックを寡占的に支配するBIAS事業者による市場支配力行使の抑制
 - BIAS事業者による上位レイヤ統合の是非など
- プレイヤーの行動制約
 - 電気通信事業法6条や独禁法により、不当な差別的取扱いについては法的に抑制されていると想定



導かれるのは、最適な資源配分をもたらす構造&行為規制

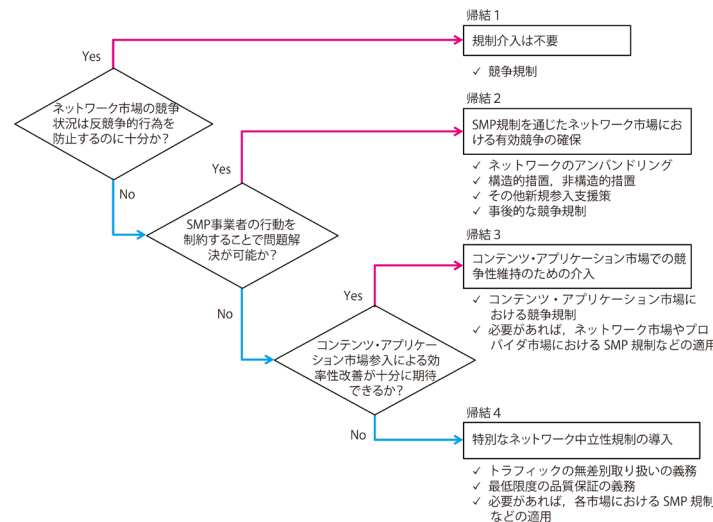


図 12-4-2 規制発動フローチャート

今回の議論

- 短期の議論：産業構造は所与
 - ボトルネック市場の寡占性はモデル条件の一つ
 - ISPの数は1（独占）～10（強い競争状態）
 - 議論の焦点はプレイヤー間のパイの奪合い
 - ただし、X非効率性はないものとして分析
- プレイヤーの行動制約
 - 各自の目的変数に対して合理的に行動
 - 「不当な差別的取扱い」はエージェントに許容



導かれるのは、所与の産業構造・産業組織の下で最適な分配をもたらす行為規制

- 幼稚産業保護政策
- ターゲティング政策

参考文献

- BEREC (2016) “BEREC Guidelines on the Implementation by National Regulators of European Net Neutrality Rules,” BoR(16)127, https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/6160-berec-guidelines-on-the-implementation-b_0.pdf
- Easley, R.F., Guo, H., and Krämer, J. (2018) "From Net Neutrality to Data Neutrality: A Techno-Economic Framework and Research Agenda," *Information Systems Research*, 29(2), 253-272.
- EU (2015) “Regulation (EU) 2015/2120 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 laying down measures concerning open internet access and amending Directive 2002/22/EC on universal service and users’ rights relating to electronic communications networks and services and Regulation (EU) No 531/2012 on roaming on public mobile communications networks within the Union (Text with EEA relevance),” Official Journal of the European Union, L 310, 1-18.
- FCC (2018) “Declaratory Ruling, Report and Order, and Order, In the Matter of Restoring Internet Freedom,” 33 FCC Rcd 311 (1).
- Gilbert, N. and Troitzsch, K. (1999) *Simulation for Social Scientist*, Open University Press.
- 実積寿也 (2019) 「ゼロレーティングサービスに対する消費者評価の分析」『情報通信学会誌』 37(3), pp.1-15.
- Jitsuzumi, T. (2020) “Net Neutrality.” In Mitomo, H. (ed.), *Telecommunications Policies of Japan*, Springer, pp.201-220.