

# 生物共生モデルにもとづく オーバレイネットワーク共生アーキテクチャの提案

森本 亨<sup>†</sup> 若宮 直紀<sup>†</sup> 村田 正幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: †{t-morimoto,wakamiya,murata}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし オーバレイネットワークは、リンク、ルータなどの物理網資源を共有、競合するため、オーバレイネットワークの利己的な制御はネットワークシステム全体の性能やユーザへ提供されるサービス品質の劣化を引き起こす。そのため、我々は、異なるオーバレイネットワークが協調、共生することによってシステム全体の性能の向上を図る、オーバレイネットワーク共生環境を提案している。本稿では、具体的なアプリケーションとして、P2P ファイル共有ネットワークを対象とし、ウェブポータルサービスによって異なる P2P ファイル共有ネットワークが協調的に動作する、オーバレイネットワーク共生アーキテクチャを提案する。シミュレーション評価により、単一の P2P ファイル共有ネットワークによるファイル共有、あるいは異なる P2P ファイル共有ネットワークを個別に使用する場合と比較して、生物共生モデルにもとづく P2P ファイル共有ネットワーク共生によって、ファイル共有に参加するピア数の増加、およびリクエストキャンセル率を抑えるといった効果が得られることを示し、また、さまざまな条件下におけるウェブポータルサーバ、P2P ファイル共有ネットワークの振る舞いについて分析した。

キーワード オーバレイネットワーク、生物共生モデル、P2P ファイル共有

## Proposal of a network architecture of symbiotic overlay networks based on a biological symbiosis model

Tohru MORIMOTO<sup>†</sup>, Naoki WAKAMIYA<sup>†</sup>, and Masayuki MURATA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-5 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka 565-0871, Japan

E-mail: †{t-morimoto,wakamiya,murata}@ist.osaka-u.ac.jp

**Abstract** Since a variety of overlay networks that are deployed over physical IP networks shares and competes for physical network resources, their selfish control decreases their performance and Quality of Service offered to users. We have proposed the framework called overlay network symbiosis that aims to improve system performance by making overlay networks cooperate and coexist. In this paper, we propose a network architecture of symbiotic overlay networks based on biological symbiosis model. We consider a web portal service which allows users to use different P2P file-sharing applications or networks in a transparent way. We introduce a cooperation mechanism inspired by a biological symbiosis model to enhance the total system performance and show simulation results to evaluate its effectiveness in terms of the number of participating peers and the ratio of request cancellation.

**Key words** Overlay Network, Biological Symbiosis Model, P2P File-sharing

### 1. はじめに

アプリケーション指向のネットワークサービスに対する要求が高まるにつれて、さまざまなオーバレイネットワークが利用されるようになってきた。オーバレイネットワークはアプリケーションの求める QoS (Quality of Service) を満足できるよ

うに、トラフィック制御、経路制御、トポロジ制御を行うが、他のオーバレイネットワークとリンクやルータなどの物理網資源を共有するため、さまざまな問題が生じる。例えば、オーバレイネットワークがスルーポイント向上などのために空いているリンクを利用するようにトポロジを変更すると、そのリンクを利用している他のオーバレイネットワークはトラフィック増によ

る性能低下をきっかけにトポロジを変更する．オーバーレイネットワークが物理網資源を共有，競合する環境では，連鎖的な利己的制御によってシステムが不安定になり，かえってオーバーレイネットワークの性能が劣化することが示されている [1] [2]．

そのため，オーバーレイネットワークの競合の問題を解決し，システム全体の性能向上を図るための研究がなされている．例えば，文献 [3] では，オーバーレイネットワーク間の制御情報や測定情報の共有，検索・応答での協調，トラヒック制御における協調などさまざまな協調モデルが示されており，また，その具体例としてオーバーレイネットワーク間で協調ルーティングを行うアーキテクチャ Synergy が提案されている．Synergy では，それぞれのオーバーレイネットワークが，参加しているオーバーレイネットワークの数，他のオーバーレイネットワークとの距離，オーバーレイネットワークでの位置などにもとづいてノードを選出し，long-lived セッションをそれらのノードによって構成されるネットワークで収容することにより性能向上を図る．

我々の研究グループでは，ネットワーク資源，情報資源などを共有，競合する異なるオーバーレイネットワークが協調，共生することによってシステム全体の性能の向上を図る，オーバーレイネットワーク共生環境を提案している [4]．オーバーレイネットワーク共生環境では，生物学分野で解明されてきた生態系における共生の仕組みにもとづくことにより，効果的なオーバーレイネットワーク共生を達成する．生態系では，直接または間接的な相互作用によって，異なる特性を持つ生物が同じ環境内で共生，共存する現象が多く見られる．例えば，大腸菌と，その捕食者である粘菌は，貧栄養培地では，後者が前者を食べつくすことなく安定的に共存する [5]．文献 [6] では，細胞膜と培地を介した代謝物の交換によって近種のバクテリアが共生する仕組みが数学モデルで表現され，実験結果とよくあうことが示されている．我々は，この生物共生モデルをオーバーレイネットワークに適用し，オーバーレイネットワークが共生するパラメータ領域を示すとともに，オーバーレイネットワークが単独では成立できない条件においても，異種のオーバーレイネットワークを導入することで，両者が共存できる場合があることを明らかにしている [7]．

本稿では，異なる P2P ファイル共有ネットワークを協調的に利用することによってシステム全体の性能向上を図る，生物共生モデルにもとづくオーバーレイネットワーク共生アーキテクチャを提案し，その有効性をシミュレーションにより示す．提案するアーキテクチャでは，ユーザに対して複数の P2P ファイル共有ネットワークの透過的な利用手段を提供するウェブポータルサービスを想定し，ウェブポータルサーバが，ユーザの代わりに P2P ファイル共有ネットワークの状態に応じたファイルの検索，取得およびファイル共有を行う．

以下，2. 章では，生物共生モデルの概要について述べ，3. 章で，生物共生モデルにもとづいたオーバーレイネットワーク共生アーキテクチャを提案する．4. 章で，提案するアーキテクチャの有効性をシミュレーション評価によって示し，最後に 5. 章で，本稿のまとめと今後の課題について述べる．

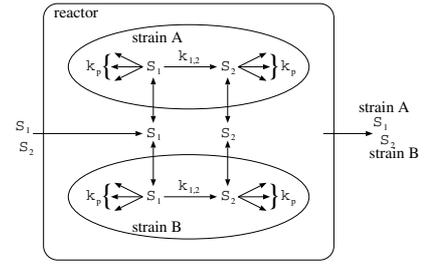


図 1 バクテリアの共生モデル

## 2. 生物共生モデル

文献 [6] では，反応器内の 2 種類のバクテリアの代謝物のやりとりを介した共生の仕組みをモデル化している．バクテリアは代謝物  $S_1$  を代謝物  $S_2$  に変換する代謝ネットワークを有しており，また，代謝物は反応器内の代謝物濃度とバクテリア内の代謝物濃度の違いによって細胞膜を通じて出入りする（図 1）．

バクテリア  $i \in \{A, B\}$  における代謝物  $S_1$ ，代謝物  $S_2$  の濃度変化は，次式で与えられる．

$$\frac{ds_1^{(i)}}{dt} = \frac{P}{V}(s_1^{(R)} - s_1^{(i)}) - (k_{1,2}^{(i)} + k_p)s_1^{(i)} \quad (1)$$

$$\frac{ds_2^{(i)}}{dt} = \frac{P}{V}(s_2^{(R)} - s_2^{(i)}) + k_{1,2}^{(i)}s_1^{(i)} - k_p s_2^{(i)} \quad (2)$$

$P$  は細胞膜の透過係数， $V$  は細胞の平均体積である． $s_{\{1,2\}}^{(i)}$ ， $s_{\{1,2\}}^{(R)}$  はそれぞれ，バクテリア  $i$  における代謝物濃度，反応器内における代謝物濃度である． $k_p$  は細胞内での代謝物の消費率であり， $k_{1,2}^{(i)}$  はバクテリア  $i$  における代謝レートである．

一方，反応器内の代謝物濃度の変化は，次式で与えられる．

$$\frac{ds_1^{(R)}}{dt} = D(s_1^{(0)} - s_1^{(R)}) + \sum_{i \in \{A, B\}} X^{(i)} P(s_1^{(i)} - s_1^{(R)}) \quad (3)$$

$$\frac{ds_2^{(R)}}{dt} = D(s_2^{(0)} - s_2^{(R)}) + \sum_{i \in \{A, B\}} X^{(i)} P(s_2^{(i)} - s_2^{(R)}) \quad (4)$$

$X^{(i)}$  は反応器内のバクテリア  $i$  の濃度である．反応器に新たな培地が導入されると同時に同量の培地が排出されており， $s_{\{1,2\}}^{(0)}$  は反応器に追加される新しい培地内の代謝物濃度， $D$  は培地の追加，排出による希釈率である．

反応器内のバクテリア  $i$  の濃度変化は，次式で与えられる．

$$\frac{dX^{(i)}}{dt} = \mu^{(i)} X^{(i)} - DX^{(i)} \quad (5)$$

バクテリアは次式のように代謝物濃度によって定義される成長率  $\mu^{(i)}$  にしたがって増加する．なお， $\alpha > 0$  は定数である．

$$\mu^{(i)} = \alpha s_1^{(i)} s_2^{(i)} \quad (6)$$

反応器に追加される培地に代謝物  $S_2$  がない場合 ( $s_2^{(0)} = 0$ ) のシミュレーション結果を図 2 と図 3 に示す．図では，横軸にシミュレーション時間，縦軸にそれぞれバクテリアの濃度，代謝物  $S_2$  の濃度を示している．この実験では，最初に反応器内

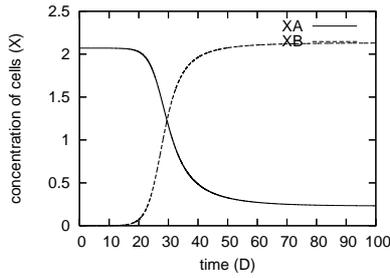


図 2 バクテリアの濃度の変化

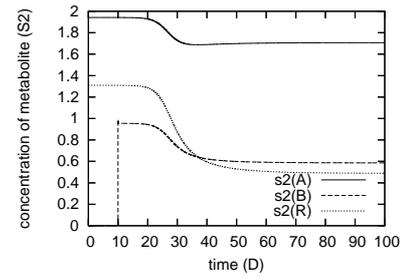


図 3 代謝物  $S_2$  の濃度の変化

にバクテリア  $A$  だけが存在し、時間  $10D$  に、代謝レートが異なるバクテリア  $B$  が反応器内に導入される ( $k_{1,2}^{(B)} < k_{1,2}^{(A)}$ )。図 2 より、代謝レートの小さいバクテリア  $B$  の導入によって代謝物  $S_1$  をより多く消費するバクテリア  $A$  の濃度が減少することが分かる。この反応器内でのバクテリアの濃度は、約  $90D$  で安定し、いずれのバクテリア濃度も 0 より大きく、共存している。また、図 3 では、バクテリア  $B$  の導入によってバクテリア  $A$ 、反応器のいずれにおいても代謝物  $S_2$  の濃度が低下している。安定状態においては、 $s_2^{(R)} < s_2^{(B)} < s_2^{(A)}$  であることから、両バクテリアから反応器へと代謝物  $S_2$  が滲出していることが分かる。環境条件（パラメータ設定）により、一方のバクテリアから他方へと代謝物が供給される共生や、いずれのバクテリアも反応器から代謝物を取り込む競合関係が現れる。

### 3. 生物共生モデルにもとづくオーバレイネットワーク共生アーキテクチャ

我々の研究グループでは、ネットワーク資源、情報資源などを共有、競合するオーバレイネットワークが協調、共生することによってシステム全体の性能向上を実現する、オーバレイネットワーク共生環境を提案している [4]。

例えば、文献 [7] では、生物共生モデルにもとづき、反応器をシステム、バクテリアをユーザに対してサービスを提供するオーバレイネットワーク、代謝物  $S_1$  をユーザ、代謝物  $S_2$  を共有資源、代謝レートをユーザのサービス率とユーザあたりの消費資源、また、 $X$  をオーバレイネットワークの大きさと定義することによって、オーバレイネットワークの共生条件について検討を行っている。このモデルでは、ユーザは代謝物濃度  $s_1^{(i)}$ 、すなわちネットワークの混み具合に応じて、より空いているネットワークからのサービスを受け、一方で代謝物濃度  $s_2^{(i)}$  が大きく、共有資源を過剰に確保しているネットワークは、他のネットワークが利用できるように資源を解放する。評価の結果、サービス率が高く、資源消費量の多いオーバレイネットワークが単独では存在できないような条件においても、よりサービス率が低く、資源消費量の少ないオーバレイネットワークを導入することによって、両者が共存し、ユーザがサービスを楽しむようになることを示している。また、ピア型 P2P ファイル共有ネットワークやハイブリッド型 P2P ファイル共有ネットワークが直接的なメッセージのやりとりによって協調的にファイルの検索、取得を行う仕組みについても検討している [8] [9]。

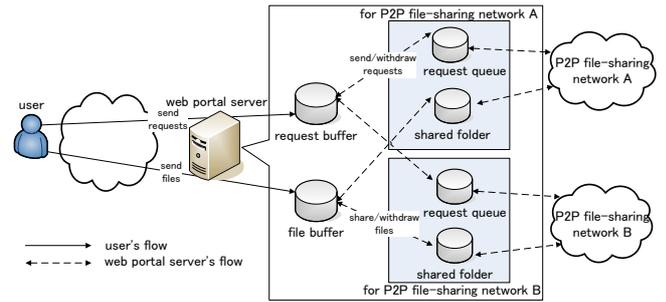


図 4 ウェブポータルサーバによる P2P ファイル共有ネットワーク共生

#### 3.1 ウェブポータルサーバによるオーバレイネットワーク共生アーキテクチャ

本稿では、ウェブポータルサーバによる P2P ファイル共有ネットワークの共生について検討する。物理ネットワーク上には、Winny や BitTorrent のようなさまざまな P2P ファイル共有ネットワークが存在し、それぞれのネットワークに参加するピア間でファイル共有が行われているものとする。提案アーキテクチャでは、異なる P2P ファイル共有ネットワークを透過的に利用するためのウェブポータルサーバを配置し、ユーザはウェブポータルサーバを介して、P2P ファイル共有ネットワークの使い分けを意識することなく、ファイルを検索、取得、共有できる (図 4)。

ユーザが検索したいファイルの情報 (リクエスト) や共有したいファイル (共有ファイル) を登録すると、ウェブポータルサーバはそれらをいったんバッファに保存する。ウェブポータルサーバはピアとして P2P ファイル共有ネットワークに参加しており、適切な P2P ファイル共有ネットワークに対して、バッファ内のリクエストを送信することによってファイル検索を、ファイルを P2P ファイル共有アプリケーションの共有フォルダに配置することによってファイル共有を行う。例えば、ある P2P ファイル共有ネットワークの共有ファイル数が少ない場合には、積極的に共有ファイルを提供することによって、そのネットワークでのファイル共有、交換を活性化し、負荷が高い P2P ファイル共有ネットワークからは共有ファイルを取り下げて他に提供する。P2P ファイル共有ネットワークから取得したファイルはユーザに提供されるとともに、対応する共有フォルダ、またはファイルバッファに保存される。

表 1 パラメータの定義

パラメータ	定義
$s_1^{(i)}$	P2P ファイル共有ネットワーク $i$ に参加しているピアあたりのリクエスト数
$s_2^{(i)}$	P2P ファイル共有ネットワーク $i$ に参加しているピアあたりの共有ファイル数
$s_1^{(R)}$	ウェブポータルサーバがバッファに保有しているリクエスト数
$s_2^{(R)}$	ウェブポータルサーバのバッファに保有している共有ファイル数
$s_1^{(0)}$	単位時間あたりにユーザがウェブポータルサーバに登録する新しいリクエストの数
$s_2^{(0)}$	単位時間あたりにユーザがウェブポータルサーバに登録する新しい共有ファイルの数
$k_{1,2}^{(i)}$	P2P ファイル共有ネットワーク $i$ のリクエスト処理率
$k_p$	単位時間あたりに P2P ファイル共有ネットワークから消えるリクエスト/共有ファイルの割合
$P$	単位時間あたりに P2P ファイル共有ネットワークとウェブポータルサーバ間でやりとりされるリクエスト/共有ファイルの割合
$D$	ウェブポータルサーバがバッファに保有するリクエスト/共有ファイルの変化率
$\mu^{(i)}$	P2P ファイル共有ネットワーク $i$ の成長率
$X^{(i)}$	P2P ファイル共有ネットワーク $i$ の参加ピア数
$\alpha$	定数 ( $\alpha > 0$ )

### 3.2 生物共生モデルにもとづく P2P ファイル共有ネットワーク共生

本稿では、ウェブポータルサーバを生物共生モデルにおける反応器、P2P ファイル共有ネットワークをバクテリア、リクエストを代謝物  $S_1$ 、ファイルを代謝物  $S_2$  とみなすことにより、生物共生モデルにもとづく効果的な P2P ファイル共有ネットワーク共生を実現する。生物共生モデルの本モデルにおけるパラメータの定義を表 1 に示す。なお、例えば、生物共生モデルにおける  $s_1^{(i)}$  はバクテリア  $i$  における代謝物  $S_1$  の濃度であるが、ウェブポータルサービスによる P2P ファイル共有ネットワーク共生モデルでは、仮想的な体積  $V$  を 1 とすることによって数として取り扱っている。

以降では、ウェブポータルサーバが P2P ファイル共有ネットワークの状態に応じて、送信リクエスト数、共有ファイル数を調整する仕組みについて述べる。まず、P2P ファイル共有ネットワーク  $i$  に参加しているピアあたりのリクエスト数  $s_1^{(i)}$  の変化は、次式で与えられる。

$$\frac{ds_1^{(i)}}{dt} = P(s_1^{(R)} - s_1^{(i)}) - (k_{1,2}^{(i)} + k_p)s_1^{(i)} \quad (7)$$

P2P ファイル共有ネットワーク  $i$  に参加しているピアあたりのリクエスト数は、P2P ファイル共有ネットワーク  $i$  に存在する総リクエスト数を参加ピア数で割ったものである。ピアあたりのリクエスト数がウェブポータルサーバが保有するリクエスト数よりも多い場合、多くのピアがファイルを検索処理中、または取得中であるため、ウェブポータルサーバはその P2P ファイル共有ネットワークにリクエストを送信するのを控え、一方、ピアあたりリクエスト数がより少ない場合にはリクエストを送信する（右辺第一項）。また、ピアあたりリクエスト数は、リクエストに対するファイル取得の完了、またはピアによるリクエストのキャンセルによって減少する（右辺第二項）。

次に、P2P ファイル共有ネットワーク  $i$  に参加しているピアあたりの共有ファイル数  $s_2^{(i)}$  の変化は、次式で与えられる。

$$\frac{ds_2^{(i)}}{dt} = P(s_2^{(R)} - s_2^{(i)}) + k_{1,2}^{(i)}s_1^{(i)} - k_p s_2^{(i)} \quad (8)$$

P2P ファイル共有ネットワーク  $i$  に参加しているピアあたりの共有ファイル数は、P2P ファイル共有ネットワーク  $i$  で共

有されているファイル数を参加ピア数で割ったものである。ピアあたり共有ファイル数がウェブポータルサーバが保有する共有ファイル数よりも多い場合、そのネットワークで十分な数のファイルが共有されていることを意味し、ウェブポータルサーバはファイル共有を控え、一方、ピアあたり共有ファイル数がより少ない場合にはファイル共有を行う（右辺第一項）。また、ピアあたり共有ファイル数は、ピアがファイルの取得を完了することで増加し（右辺第二項）、ピアがファイルの共有をやめることによって減少する（右辺第三項）。

また、ウェブポータルサーバがバッファに保有するリクエスト数  $s_1^{(R)}$  の変化は、次式で与えられる。

$$\frac{ds_1^{(R)}}{dt} = D(s_1^{(0)} - s_1^{(R)}) + \sum_{i \in \{A, B\}} X^{(i)} P(s_1^{(i)} - s_1^{(R)}) \quad (9)$$

ウェブポータルサーバが保有するリクエスト数は、ユーザがウェブポータルサーバにリクエストに登録することで増加し、ユーザによるリクエストのキャンセルによって減少する（右辺第一項）。ウェブポータルサーバは効率的なファイル検索のため、ピアあたりリクエスト数が少ない P2P ファイル共有ネットワーク、参加ピア数が多い P2P ファイル共有ネットワークにより多くのリクエストを送信し、ピアあたりリクエスト数がより多い P2P ファイル共有ネットワークからはリクエストを取り下げる（右辺第二項）。

また、ウェブポータルサーバが保有する共有ファイル数  $s_2^{(R)}$  の変化は、次式で与えられる。

$$\frac{ds_2^{(R)}}{dt} = D(s_2^{(0)} - s_2^{(R)}) + \sum_{i \in \{A, B\}} X^{(i)} P(s_2^{(i)} - s_2^{(R)}) \quad (10)$$

ウェブポータルサーバが保有する共有ファイル数は、ユーザがファイルをウェブポータルサーバに登録することによって増加し、ユーザが登録したファイルを取り消すことによって減少する（右辺第一項）。また、ウェブポータルサーバはリクエストと同様に P2P ファイル共有ネットワークの参加ピア数と共有ファイル数に応じて共有ファイルのやりとりを行う（右辺第二項）。

最後に、P2P ファイル共有ネットワークの参加ピア数  $X^{(i)}$  の変化は、次式で与えられる。

$$\frac{dX^{(i)}}{dt} = \mu^{(i)} X^{(i)} - DX^{(i)} \quad (11)$$

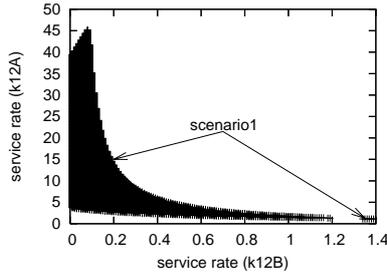


図 5 P2P ファイル共有ネットワークの参加ピア総数

P2P ファイル共有ネットワークの参加ピア数は、新しいピアの参加によって増加し、ピアの離脱によって減少する．ここで、成長率  $\mu^{(i)}$  は次式のように定義され、ピアあたりリクエスト数や共有ファイル数が多い P2P ファイル共有ネットワークほど成長率が高くなる．なお、 $\alpha > 0$  は定数である．

$$\mu^{(i)} = \alpha s_1^{(i)} s_2^{(i)} \quad (12)$$

#### 4. シミュレーション評価

本章では、生物共生モデルにもとづく P2P ファイル共有ネットワーク共生の有効性や振る舞いについて、P2P ファイル共有ネットワークの参加ピア総数、リクエストキャンセル率を指標として、シミュレーションにより評価する．

##### 4.1 シミュレーション条件

シミュレーションでは、 $P$ 、 $k_p$  をそれぞれ 1.0、 $D$ 、 $\alpha$  をそれぞれ 0.01 とし、単位時間あたりに登録されるリクエスト数  $s_1^{(0)}$ 、ファイル数  $s_2^{(0)}$  をそれぞれ 10.0、0.0 とした [6]．したがって、ウェブポータルサーバのファイルバッファには、ユーザのリクエストに応じて P2P ファイル共有ネットワークから取得したファイルのみが蓄積されることとなる．ここでは二つの P2P ファイル共有ネットワーク A と B が存在するものとし、単位時間あたりのリクエスト処理率  $k_{1,2}^{(A)}$ 、 $k_{1,2}^{(B)}$  をそれぞれ 0.1 から 50.0、0.01 から 1.4 まで変化させた．

ウェブポータルサービスを介した P2P ファイル共有ネットワークの協調の効果を示すため、(1) 二つの P2P ファイル共有ネットワーク A と B を協調的に利用する場合、(2) P2P ファイル共有ネットワーク A のみが存在する場合、(3) P2P ファイル共有ネットワーク B のみが存在する場合、および (4) 二つの P2P ファイル共有ネットワークが存在するが別々に利用する場合の 4 つのシナリオについて評価を行う．シナリオ 1 では、P2P ファイル共有ネットワークの参加ピアの総数は、3. 章の数式にもとづいて算出されたネットワーク A、B それぞれの参加ピア数を足しあわせた  $X^{(A)} + X^{(B)}$  で、また、リクエストキャンセル率は  $\frac{s_1^{(R)}}{s_1^{(0)}}$  でそれぞれ与えられる．シナリオ 2 については、P2P ファイル共有ネットワーク B の  $X^{(B)}$ 、 $s_1^{(B)}$ 、 $s_2^{(B)}$  をいずれも 0 とし指標を導出した．シナリオ 3 についても同様である．シナリオ 4 については、ユーザのリクエストや共有ファイルがファイル共有ネットワーク A および B に同等に割り当てられるものとして、シナリオ 2 およびシナリオ 3 で求められた指標の和を 2 で割ったものを用いる．

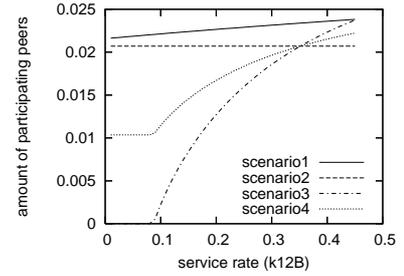


図 6 P2P ファイル共有ネットワークの参加ピア総数の変化

#### 4.2 P2P ファイル共有ネットワークの参加ピア総数

P2P ファイル共有ネットワークの参加ピア総数が最大となるシナリオを図 5 に示す．なお、横軸は P2P ファイル共有ネットワーク B のリクエスト処理率、縦軸は P2P ファイル共有ネットワーク A のリクエスト処理率であり、それらの組合せにおいて収束時のピア総数が最大のシナリオを点で示している．図 5 に示すとおり、すべての領域において、P2P ファイル共有ネットワークを協調的に利用するシナリオ 1 が最もピア総数が多い．これは、P2P ファイル共有ネットワーク共生によってファイルの共有、交換が促され、多くのピアを惹きつけることができたためであると考えられる．

$k_{1,2}^{(A)} = 5.0$  に対して  $k_{1,2}^{(B)}$  を変化させた場合の参加ピア総数の変化を図 6 に示す．図に示されるとおり、シナリオ 2 を除き、P2P ファイル共有ネットワーク B のリクエスト処理率が高くなるにつれて、参加ピア総数が増加していることが分かる． $k_{1,2}^{(B)} = 0.45$  のとき、シナリオ 2、シナリオ 3、シナリオ 4 の参加ピア総数が同じであるが、それぞれのシナリオにおけるピア、ポータルサーバの振る舞いは異なる．リクエスト処理率の高い P2P ファイル共有ネットワーク A だけが存在するシナリオ 2 ではピアは多くのファイルを取得することができ、ピアあたりの共有ファイル数が多い．そのため、ウェブポータルサーバは P2P ファイル共有ネットワークへのファイル提供を抑えている．また、リクエスト処理率の低いファイル共有ネットワーク B のみが存在するシナリオ 3 では、多くのピアはファイルを取得中であり、ピアあたりの共有ファイル数が少ないため、ウェブポータルサーバはシナリオ 2 と比較してより多くのファイル共有を行っている．シナリオ 4 では、シナリオ 2 および 3 と同様の振る舞いを示す P2P ファイル共有ネットワーク A と B が別々に利用されている．

また、 $k_{1,2}^{(B)} < 0.08$  のとき、シナリオ 3 では P2P ファイル共有ネットワークの参加ピア総数が 0 となっているが、これは、P2P ファイル共有ネットワーク B のリクエスト処理率が低く、共有ファイルが少ないため、成長率が低下し、ピア数が減少したことによる．したがって、 $k_{1,2}^{(B)} < 0.08$  のとき、シナリオ 4 では P2P ファイル共有ネットワーク A しか存在せず、ピア総数が一定となる．

$k_{1,2}^{(B)} = 0.45$  では、シナリオ 1 とシナリオ 3 の参加ピア総数が等しくなっている．図 2 に示されるように、P2P ファイル共有ネットワークが共生している環境においては、リクエスト処

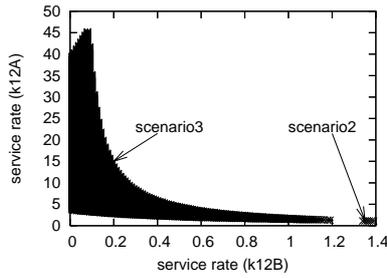


図7 リクエストキャンセル率

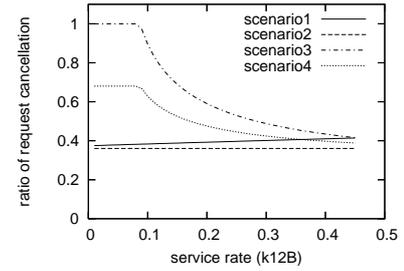


図8 リクエストキャンセル率の変化

理率（図2では代謝レート）が高いP2Pファイル共有ネットワークの参加ピア数は、リクエスト処理率の低いネットワークの参加によって低下する。図6では、P2Pファイル共有ネットワークBのリクエスト処理率が増加するにつれてP2Pファイル共有ネットワークAの参加ピア数が減少し、 $k_{1,2}^{(B)} = 0.45$ において0になっている。

#### 4.3 リクエストキャンセル率

リクエストキャンセル率が最大となるシナリオを図7に示す。図7に示されるとおり、リクエストキャンセル率は $k_{1,2}^{(B)}$ が1.2より小さいときには、シナリオ3が最も高く、 $k_{1,2}^{(B)}$ が1.2より大きいときは、シナリオ2が最も高い。

$k_{1,2}^{(A)} = 5.0$ に対して $k_{1,2}^{(B)}$ を変化させた場合のリクエストキャンセル率を図8に示す。シナリオ1では、P2Pファイル共有ネットワークBのリクエスト処理率の向上に伴って、リクエストキャンセル率が増加している一方で、シナリオ3、シナリオ4では、リクエストキャンセル率が減少していることがわかる。シナリオ1では、リクエスト処理率が高くなることによってP2Pファイル共有ネットワークBの参加ピア数や処理されるリクエスト数が増加する一方で、P2Pファイル共有ネットワークAによって処理されるリクエスト数が参加ピア数の減少により少なくなるため、P2Pファイル共有ネットワーク全体としてリクエストキャンセル率が高くなる。一方、シナリオ3ではP2Pファイル共有ネットワークBだけが存在し、また、シナリオ4ではP2Pファイル共有ネットワークが独立して利用されるため互いに影響を与えあわず、P2Pファイル共有ネットワークBのリクエスト処理率が高くなるにつれてリクエストキャンセル率が低下する。

$k_{1,2}^{(B)} = 0.45$ のとき、シナリオ1とシナリオ3のリクエストキャンセル率が等しくなっている。これは、4.2節で述べたとおり、P2Pファイル共有ネットワークAの参加ピア数が0になっているためである。また、 $k_{1,2}^{(B)} < 0.08$ のときは、P2Pファイル共有ネットワークBが機能しておらず、ウェブポータルサーバはリクエストをP2Pファイル共有ネットワークBに送信することができないため、シナリオ3ではリクエストキャンセル率が100%に、また、シナリオ4ではリクエストキャンセル率が一定になっている。

#### 5. おわりに

本稿では、生物学における生物共生モデルにもとづくことにより、異なるP2Pファイル共有ネットワークがウェブポータ

ルサーバによって協調的に利用され、システム全体の性能が向上する、オーバーレイネットワーク共生アーキテクチャを提案し、シミュレーションによってその有効性を評価した。その結果、P2Pファイル共有ネットワークが協調しない場合と比較して、より多くのピアによる効率的なファイル共有が行われることが明らかとなった。

今後は、実際のピアの挙動を考慮した現実的なシミュレーションモデルでの動作検証と有効性の評価を行う。

#### 謝 辞

本研究の一部は、文部科学省グローバルCOEプログラム（研究拠点形成費）によるものである。ここに記して謝意を表す。

#### 文 献

- [1] M. Seshadri and R. H. Katz: "Dynamics of simultaneous overlay network routing", Technical report UCB//CSD-03-1291, Electrical Engineering and Computer Science (EECS), University of California Berkeley (UCB) (2003).
- [2] L. Qiu, Y. R. Yang, Y. Zhang and S. Shenker: "On selfish routing in internet-like environments", Proceedings of ACM SIGCOMM 2003, pp. 151-162 (2003).
- [3] M. Kwon and S. Fahmy: "Synergy: An overlay internet-networking architecture and its implementation", Technical report, Purdue University (2005).
- [4] N. Wakamiya and M. Murata: "Toward overlay network symbiosis", Proceedings of the Fifth International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P2005), pp. 154-155 (2005).
- [5] M. Todoriki, S. Oki, S.-I. Matsuyama, E. P.Ko-Mitamura, I. Urabe and T. Yomo: "An observation of the initial stage towards a symbiotic relationship", BioSystems, pp. 105-112 (2002).
- [6] T. Yomo, W.-Z. Xu and I. Urabe: "Mathematical model allowing the coexistence of closely related competitors at the initial stage of evolution", Researches on Population Ecology, **38**, 2, pp. 239-247 (1996).
- [7] N. Wakamiya and M. Murata: "Bio-inspired analysis of symbiotic networks", Proceedings of 20th International Teletraffic Congress (ITC-20) (2007).
- [8] J. Konishi, N. Wakamiya and M. Murata: "Design and evaluation of a cooperative mechanism for pure P2P file-sharing networks", IEICE Transactions on Communications, **E89-B**, pp. 2319-2326 (2006).
- [9] H. Fu, N. Wakamiya and M. Murata: "A cooperative mechanism for hybrid P2P file-sharing networks to enhance application-level QoS", IEICE Transactions on Communications, **E89-B**, pp. 2327-2335 (2006).