

# Adhoc Grid環境における ユーザ満足度を考慮したスケジューリング

岩村 尚<sup>†</sup>, 相田 仁<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 東京大学大学院 新領域創成科学研究科

**あらまし** 従来の静的な Grid から各ユーザがリソースを持ち寄って構築する Adhoc Grid への注目が高まっている。Adhoc Grid 環境では、参加するユーザの様々な価値尺度に基づいたユーザ満足度を向上させることが重要である。ユーザ満足度を考慮したものとして市場経済モデルに基づいたスケジューリングが研究されているが、これは特定の価値尺度に基づいたユーザ満足度を明示的に向上させてはいない。本研究ではユーザ満足度として、公平性を考慮したユーザ満足度を取り上げ、その向上を目的としたスケジューリング手法を市場経済モデルを基に構築し、シミュレーションによる評価を行った。

## Scheduling considering User Satisfaction in Adhoc Grid Environment

Takashi IWAMURA<sup>†</sup> Hitoshi AIDA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

**Abstract** Recently, the technologies enabling short-lived, transient, small and ad hoc collaboration in Grid environment, called "Adhoc Grid" are desired. Adhoc Grid is constructed by some users providing their computing resources and used with each other. In this environment, users join to Adhoc Grid with various expectations and measures of value and it is very important to improve user satisfaction based on them. As a research including the key word "User Satisfaction", Economy based scheduling exists. But Economy based scheduling doesn't improve explicitly user satisfaction based on specific expectation or measure of value. In this paper, we picked up fairness based user satisfaction, proposed scheduling method which extends Economy based scheduling to improve it, and evaluated it with simulation.

### 1 はじめに

Grid Computing は一部ではすでに運用され、大きな成果を上げつつある (e.g. NASA Information Power Grid: NASA IPG [1])。従来型の Grid の特徴として、事前に大量のリソースを集め、入念かつ高コストなセットアップ・管理により高速・大規模なアプリケーションを行うのに十分な性能を実現し、持続的に稼働、すなわち静的な Grid となっていることが挙げられる。しかしその反面、Grid を使用できるのは大規模な企業、研究組織に属する人に限られていること、短期間の利用にはコストの面で適さないという欠点がある。

一方で、複数の科学者、企業などの組織が互いにリソースを提供しあって一時的 (多くの場合は一回きり)・短期間 (数時間から数日) の Grid を構築して、大量にリソースを消費するシミュレーションや実験を共同で行い、さらに実験に関するディスカッション等といったコラボレーションを行う Adhoc Grid への要望が高まってきている [2,3]。これには既存の Grid のように、入念な準備をする必要が無いこと、大規模な企業・組織に属していない人でも Grid を構築し、利用可能となる利点がある。

Adhoc Grid への参加者たちは、様々な期待・価値基準を持っている。例えば、自身のジョブに対する価値、Deadline に対するジョブの価値低減具合、本研究で取り上げる自身のリソースの稼働コストに関する公平性への配慮などが挙げられる。よって Adhoc Grid を構築・利用する際には、このような異なる価値基準を持った参加者のユーザ満足度を向上させる手法を用いることが望ましい。

現在、ユーザ満足度を向上させるスケジューリングとして市場経済モデルを導入した研究は多く行われている [4]。しかし、市場経済モデルではリソースの消費者、提供者がそれぞれいかに安くリソースを消費し、いかに高く提供できるかによって決まる総余剰を最大化した状態をユーザ満足度が最大化されているものとしているため、上で述べたような様々な価値尺度に基づくユーザ満足度を明示的に向上させているとはいえない。

そこで本研究では、ユーザ満足度として、Adhoc Grid の参加者 (以下ユーザ) がそれぞれ提供したりリソースの稼働コストに関する公平性を考慮した満足度を取り上げ、それを向上させるスケジューリング手法を提案する。具体的には、公平性に対する配慮をコストとしてとらえ、市場経済モデルの金銭のや

り取りに上乗せする形で行う。

以下、本論文では2章において提案するスケジューリング手法について述べ、3章でシミュレーションによる提案手法の評価を行い、4章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2 提案手法

本章ではまず提案手法となる市場経済モデルに基づいたスケジューリングについて述べ、次に公平性を考慮したユーザ満足度のモデル化を行い、提案スケジューリング手法を述べる。

### 2.1 ベースとなる市場経済モデル

提案手法のベースとなる市場経済モデルには、各ユーザが自リソースのタスクの満室率により、需要と供給を判断し、価格を調整する方式 [5] を選択した。この方式では式 1 により価格変更率を決定し、式 2 によりリソース価格を更新する。式 1 における  $Num_{current}$ 、 $Num_{max}$  は受付中のタスク数、同時に受付可能なタスク数を表し、 $1 - r_{down}$ 、 $1 + r_{up}$  は  $Num_{current} = 0$ 、 $Num_{current} = Num_{max}$  の時の価格変更率を表す。

$$ratio = 1 - r_{down} + \frac{Num_{current}}{Num_{max}} (r_{up} + r_{down}) \quad (1)$$

$$price = previous\_price \times ratio \quad [\$/GI] \quad (2)$$

この式 2 で決まる価格をタスクの論理演算量に乗じることによって依頼者が提供者に支払う価格を決める。

この市場経済モデルによるスケジューリングについて説明する。ユーザはそれぞれジョブに対する価値を予算として持ち、予算内かつ必要な QoS を満たして処理を行うリソースを選択し、適合するリソースが存在しない場合は待機する。本研究では QoS としてジョブの締め切り時間 (Deadline) を取り扱う。リソースを提供するユーザは上述の方法により価格の調整を行う。このようなスケジューリングにより、価値の高いジョブが優先的に処理されるようになり、効率的なリソース割り当てが行われるようになる。

尚、本研究では仮想的な通貨を扱うが、分かりやすくするために単位として\$を用いた。

### 2.2 公平性を考慮したユーザ満足度

本節では本研究で取り扱う、公平性を考慮したユーザ満足度のモデルについて述べる。ユーザ満足度は公平性を考慮したコスト、ジョブの処理によって得られた満足度の 2 つの要素からなるものとし、公平性を扱う指標としては Fairness Index [6] を用いる。

#### 2.2.1 公平性を考慮したコスト

本研究ではリソースの稼働コストに基づいた公平性を考慮したユーザ満足度を対象としている。ユー

ザ  $i$  のリソース稼働コストを  $c_i$  [\$] とするとリソース稼働コストに基づいた Fairness Index は

$$FI = \frac{1}{n} \frac{(\sum c_i)^2}{\sum c_i^2} \quad (3)$$

となる。ここで、ある参加者  $j$  が  $FI$  を最大化するリソース稼働コストを  $c_j^*$  とすると  $c_j^*$  は次の式 (4) を満たす。

$$\frac{\partial FI}{\partial c_j} = 0 \quad (4)$$

よって

$$c_j^* = \frac{\sum_{i \neq j} c_i^2}{\sum_{i \neq j} c_i} \quad [\$] \quad (5)$$

となる [6]。そして、自分が公平性を最大化できる  $c_j^*$  とそれに対する現在の自分の  $c_j$  との差を取ることによって参加者  $j$  の公平性に対するコスト (Cost to Fairness:CF) として定義する。

$$CF_j = \alpha_j (c_j^* - c_j) \quad [\$] \quad (6)$$

$\alpha_j$  はユーザ  $j$  が公平性に配慮する度合い ( $0 \leq \alpha_j \leq 1$ ) である。 $CF > 0$  なら「自分のリソースは周囲より仕事をしていない」、 $CF < 0$  なら「自分のリソースは周囲と比べて仕事をし過ぎている」というコストを感じるものとする。

以上のようにして求めた Cost to Fairness とリソース稼働コストの和を取ることによって、参加者  $j$  の公平性を考慮したコストとした (式 7)。式 7 は  $c_j$  と  $c_j^*$  を  $\alpha_j$  で重み付けした形となる。

$$\begin{aligned} cost_j &= c_j + \alpha_j (c_j^* - c_j) \\ &= (1 - \alpha_j)c_j + \alpha_j c_j^* \quad [\$] \end{aligned} \quad (7)$$

#### 2.2.2 ジョブ満足度

ユーザ  $j$  がジョブ処理によって得られる満足度について述べる。本研究では全てのジョブは Deadline を持つものとし、ある 1 つのジョブ処理が Deadline に間に合えば、処理を依頼したユーザはそのジョブに対する価値、すなわち予算と同じ満足度を得て、間に合わなかった場合は 0 になるものとする。このようなジョブの満足度は Deadline を過ぎたら減少する、負の満足度になる等、他にも様々なモデルが考えられるが、本研究では単純な上記の形式を用いた。

以上のことから、ユーザ  $j$  のジョブ処理による満足度を次式のようにジョブ満足度の総和と定めた。

$$satisfaction_j = \sum job\_satisfaction \quad [\$] \quad (8)$$

### 2.2.3 公平性を考慮したユーザ満足度のモデル化

2.2.1 および 2.2.2 でモデル化した公平性を考慮したコスト、ジョブ満足度により公平性を考慮したユーザ満足度を、除算の形で表される相対満足度 (式 9)、減算の形で表される絶対満足度 (式 10) の 2 種類で定義した。

$$UserSatis_{j,relative} = \frac{satisfacion_j}{cost_j} [-] \quad (9)$$

$$UserSatis_{j,absolute} = satisfacion_j - cost_j [\text{\$}] \quad (10)$$

### 2.3 公平性を考慮したスケジューリング

公平性を考慮したスケジューリングを行うために、本研究ではユーザが市場経済モデルにより決定されたリソースの価格に対して、公平性を考慮した調整を行う。具体的には、ユーザ  $j$  が 2.2.1 で述べた  $c_j^* - c_j$  が正の値をとるのなら、経済モデルによる価格から値段の引き下げを行い、負の値をとるのなら値段の引き上げを行う。これにより、引き下げを行ったユーザは多くのタスクを受け付けるようになり、逆に引き上げを行ったユーザはタスクの受け付け量が減る。よって、稼働コストに関する公平性が向上し、公平性を考慮したユーザ満足度が向上することが期待される。

$c_j^* - c_j$  の値から 1GI 当たりの価格の増減量を算出する方法は、増減量を  $discount\_per\_GI$ 、ユーザ  $j$  が処理したトータルの論理演算量を  $total\_workload[GI]$  とし、式 (11) のように定めた。

$$discount\_per\_GI = \beta \frac{c_j^* - c_j}{total\_workload_j} [\text{\$/GI}] \quad (11)$$

$\beta$  は  $\frac{(c_j^* - c_j)}{total\_workload_j}$  の値をどの程度重視するかを表す変数である。 $\beta$  が大きくなれば、価格の増減量の絶対値が増加する。式 11 により、論理演算量  $complexity[GI]$  を持つタスクの処理に支払われる金額は

$$complexity * (price\_per\_GI - \frac{CF_j}{total\_workload_j}) [\text{\$}] \quad (12)$$

となる。 $price\_per\_GI$  は市場経済モデルの価格決定の式 2 で決まる価格である。

## 3 シミュレーションによる評価

提案手法によるスケジューリング効果をシミュレーションにより評価した。シミュレーションは各参加者の公平性への配慮の度合い  $\alpha$  が均一な場合と不均一な場合とで行った。

### 3.1 シミュレーション環境

ユーザ、リソースの設定を Table. 1 に示す。User Group を 0 から 3 まで作り、0 と 1 には高性能なりリソースを、2 と 3 には低性能なりリソースを設定した。また同じ性能のリソースを提供しているユーザでも提供可能な利用率 (Utilizaiton Limit) は異なることが考えられるので 0.8 と 0.6 の 2 種類を設定した。Cost [ $\$/GI$ ] はリソースが 1GI の処理を行った時の稼働コストを表し、2 章で述べた稼働コストはこの値にリソースが処理した論理演算量を乗じた値となる。Cost [ $\$/GI$ ] は高性能なりリソースほど値は大きいと仮定して、高性能リソースは 1 とし、低性能リソースは 0.67 に設定した。そして各 User Group に 3 人ずつユーザを設定した。

Table. 1: Setting of Users

User Group	GIPS	Utilization Limit	Cost [ $\$/GI$ ]	Number of Users
0	10	0.8	1	3
1	10	0.6	1	3
2	6	0.8	0.67	3
3	6	0.6	0.67	3

ジョブ・タスクに関するパラメータ等は以下のように設定した。

- 1 つのジョブは平均 1000 個、標準偏差 50 個の正規分布に従う個数のタスクを持つ。
- 1 つのタスクの論理演算量 (complexity) は平均 15GI、標準偏差 0.5GI の正規分布に従う。
- 1 つのジョブが持つ Deadline は平均 10min、標準偏差 2min の正規分布に従う。
- ジョブに含まれるタスクの処理全てが Deadline 内に終了した場合に、ジョブが Deadline 内に終わったものとする。
- 1 つのリソースが同時に処理できるタスクの数は 1 とした。
- 1 つのリソースは最大 10 個のタスクを予約として受け付ける。これにより式 1 において、 $Num_{max} = 11$  となる。

市場経済モデルに関するパラメータは以下のようにした。

- リソース価格の初期値は全て 1 [ $\$/GI$ ] とした。
- 式 1 における  $r_{up}$  と  $r_{down}$  は 0.01 とした。
- ジョブの予算・価値は平均 20000 [ $\$/$ ]、標準偏差 1000 [ $\$/$ ] の正規分布に従う。

公平性への配慮の度合いが均一な環境では  $\alpha = \{0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0\}$  のそれぞれの場合においてシミュレーションを行った。不均一な環境では公平性

への配慮の度合いが全体的に低いケース (Case A)、高いケース (Case B)、ばらつきが大きいケース (Case C) の 3 種類の環境を設定した。Table.2 は各ケースにおける  $\alpha$  の値を示している。User Group ごとに表中の  $\alpha$  の値を持つユーザが一人ずつ居るものとする。例えば Case A では各 User Group の 3 人のユーザがそれぞれ 0.4, 0.2, 0 の  $\alpha$  を持つ。

Table. 2: Settings of  $\alpha$  in each case

Case	Set of $\alpha$
A	0.4, 0.2, 0
B	0.8, 0.6, 0.4
C	1.0, 0.6, 0.2

シミュレーションでは式 11 の  $\beta$  を変化させ、各 User Group のスケジューリングを行わない場合と比べた時の満足度の変化を求めた。評価には、相対満足度では満足度の変化倍率、絶対満足度では 1hour 当たりの満足度の変化量を用いた。

### 3.2 結果

まずスケジューリングによるリソース稼働コストに関する Fairness Index の変化を Fig.1 示す。Even  $\beta$  が本シミュレーションにおける Fairness Index を表しており、 $\beta$  を増加させることで Fairness Index が向上していることが分かる。次に Deadline に処理が間に合ったジョブの割合を表すジョブ成功率と  $\beta$  の関係を Fig.2 の系列 Even  $\beta$  に示す。 $\beta = 5$  付近からジョブ成功率が減少している。

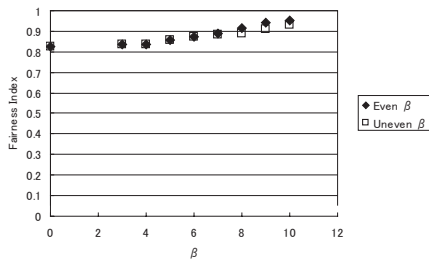


Fig. 1: Relation between  $\beta$  and Fairness Index

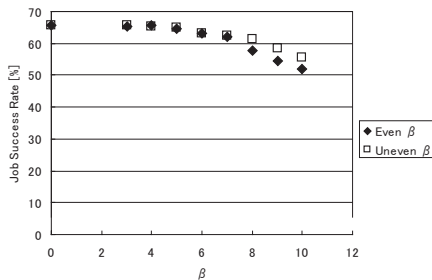
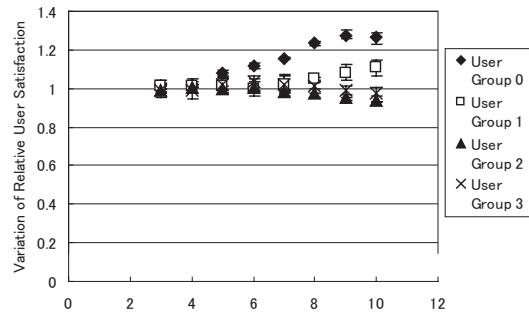


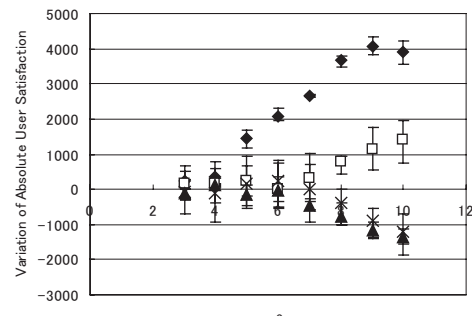
Fig. 2: Relation between  $\beta$  and Job Success Rate

Fig.3, Fig.4 に  $\alpha = 0.4$ ,  $\alpha = 0.6$  としたときの

ユーザ満足度の変化量を示す。図では各 User Group に 3 人のユーザがいるので、3 人それぞれの変化倍率、変化量の平均値をプロットし、誤差として最大値・最小値を加えた。 $\alpha = 0.4$  では高性能リソースの User Group 0 は  $\beta = 5$  で、User Group 1 は  $\beta = 8$  で満足度が増加し始めた。一方、低性能リソースの User Group 2, 3 の満足度は  $\beta = 5$  から減少し始めた。 $\alpha = 0.6$  においては  $\beta = 5$  付近からいずれの User Group も満足度が増加している。



(a) Relative  $\beta$  User Satisfaction



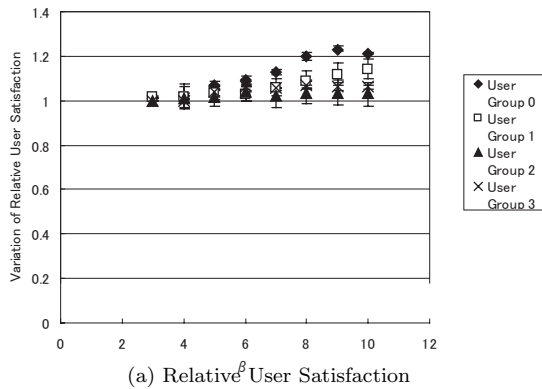
(b) Absolute  $\beta$  User Satisfaction

Fig. 3: Relations between  $\beta$  and Variation of User Satisfaction :  $\alpha = 0.4$

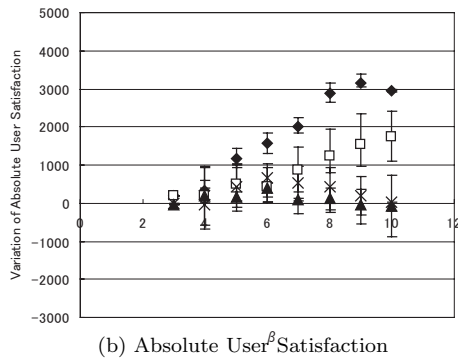
公平性への態度が不均一な場合における相対満足度の結果を Fig.5 に示す。Case A では User Group 2, 3 の満足度は減少し、Case C では User Group 2, 3 の  $\alpha = 0.2$  のユーザの満足度が減少している。Case B では  $\beta = 7$  以降 User Group 2, 3 の満足度が減少しているものの、 $6 \leq \beta \leq 7$  では全ての User Group の満足度の増加、少なくとも減少はしないという結果が得られた。

### 3.3 考察

シミュレーションの結果をまとめると、User Group 2 および 3 が  $\alpha = 0.4$  以上の公平性への配慮を持てば全体の満足度を増加させることが可能であることがわかった。ただし User Group 2 および 3 が  $\alpha = 0.4$  より小さい公平性への配慮の場合は満足度は減少してしまう。一方で、User Group 0 および 1 はいずれの場合も  $\beta$  を増加させることで満足度を増加させる



(a) Relative  $\beta$  User Satisfaction



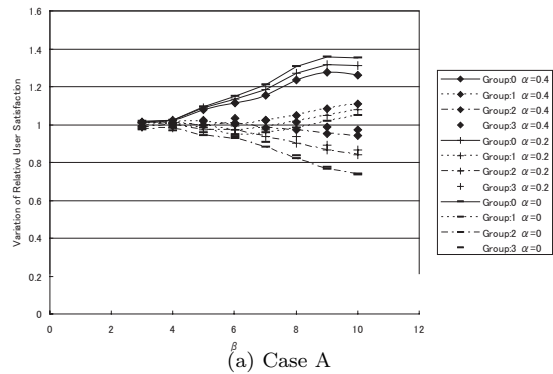
(b) Absolute User  $\beta$  Satisfaction

Fig. 4: Relations between  $\beta$  and Variation of User Satisfaction :  $\alpha = 0.6$

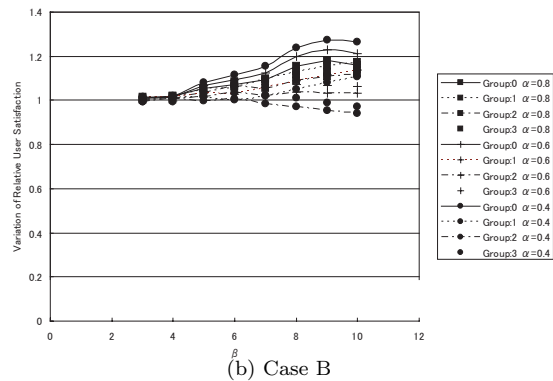
ことができる。また、 $\beta = 5$ において満足度が急激に変化していた。

満足度が減少する原因としては Fig.2 で示したジョブ成功率の低下が考えられる。User Group 2 および 3 の公平性を考慮したコストは減少していたが、ジョブ成功率の低下によりジョブ満足度が減少し、その減少量がコストの減少量を上回っていたため、結果として満足度が減少していた。

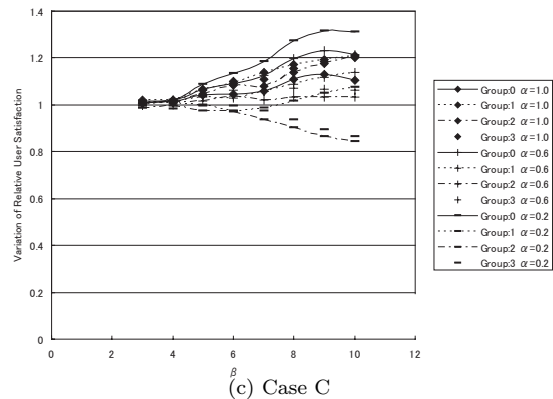
$\beta = 5$ における満足度の急激な変化はリソース価格が原因と考えられる。Fig.6 は  $\beta$  と各 User Group の 2.1 節で述べた市場経済モデルにより決定される価格の平均値との関係を表している。Fig.6 を見ると、 $\beta$  が増加するにつれて User Group 0 はリソースの価格を 2.3 節で述べた方法により上げていくので、User Group 0 のリソースの需要は下がり市場経済モデルにより決定される価格は減少している。そして  $\beta = 5$  においてその価格は 0 となる。これは User Group 0 のリソース価格は市場経済の原理から外れ、需要が常に最低の状態になり、タスクの処理量が激減したことを意味している。このように User Group 0 の高性能リソースのタスク処理量が激減したことにより稼働コストの公平性が向上し、 $\beta = 5$  において満足度の急激な変化が起り、同時にジョブ成功率の低下にも繋がったと考えられる。また  $\beta = 8$  の時でも User Group 1 において同様の現象が起こっ



(a) Case A



(b) Case B



(c) Case C

Fig. 5: Relations between  $\beta$  and Variation of User Satisfaction : Uneven  $\alpha$

ている。従ってこのシミュレーション結果から、高性能リソースを持った User Group の  $\beta$  の値が公平性に非常に大きな影響を与え、低性能リソースがタスク処理量を増やすことによる影響はごく小さいものと考えられる。

### 3.4 $\beta$ の割り当て変更による効果

ここまでのシミュレーションでは全ユーザのとする  $\beta$  の値は均一なものであった。前節の考察で述べたように公平性への影響は高性能リソースの User Group の  $\beta$  の値が非常に大きいことが分かったので、次に性能によって設定する  $\beta$  の値を変えてシミュレーションを行った。 $\beta$  は User Group 0 の  $\beta$  の値を基準に、 $Performance [GI] \times UtilizationLimit \times$

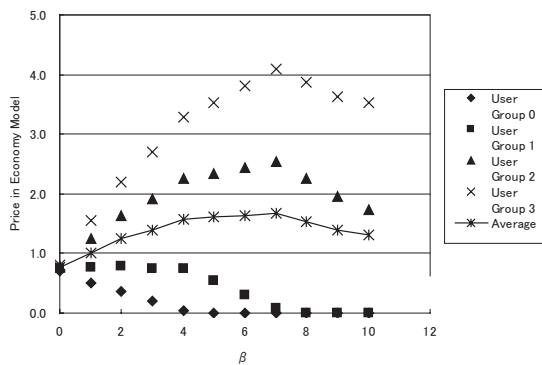


Fig. 6: Relation between  $\beta$  and Price in Economy Model

$Cost [\$/GI]$  の値の比で与えた。例えば User Group 0 が  $\beta = 8$  ならば Group 1 は 6、Group 2 は 3.2、Group 3 は 2.4 となる。

### 3.5 結果と考察

Fig.7, 8 に  $\alpha = 0.4, 0.6$  の均一な公平性への配慮を全ユーザが持つ場合の相対満足度の変化を示す。Fig.7 と Fig.3 を比較すると User Group 2,3 のユーザ満足度の減少が抑制されている。一方で、満足度の増加は小さくなっており、全ユーザの満足度が増加していた  $\alpha = 0.6$  の場合でも Fig.8 を Fig.4 と比較すると満足度の増加は小さくなっている。

User Group 2,3 の満足度減少の抑制は、これまで Group 2,3 がタスク処理量を増加しても、稼働コストが増加するだけで公平性向上の効果はなかったところを、 $\beta$  の値を小さくすることで稼働コストを削減し、公平性を考慮したコストも削減したこと、Group 1 が  $\beta = 8$  において、タスク処理量を激減させたことによるジョブ成功率の低下が起きていないこと (Fig.2 の Uneven  $\beta$ ) が原因として考えられる。一方でこの Group 1 の挙動の変化は満足度の増加が全体的に小さくなったことの原因にもなっている。これらのことは Fig.1 の Fairness Index (Uneven  $\beta$ ) へも影響している。

このように  $\beta$  の割り当て方法を変えることで、ユーザ満足度の増加分は多少減少するものの、低性能リソースのユーザの満足度減少を抑制することにより、公平性への配慮の度合いが低いケースでも全体の満足度の改善が可能であることが分かった。

## 4 まとめと今後の課題

本研究では Adhoc Grid 環境において、稼働コストに関する公平性を考慮したユーザ満足度を向上させるスケジューリング手法を提案し、シミュレーションによる評価を行った。その結果、一定の条件下では全体の満足度を向上させることが出来た。しかし、その主要因は高性能リソースがタスク処理量を減少

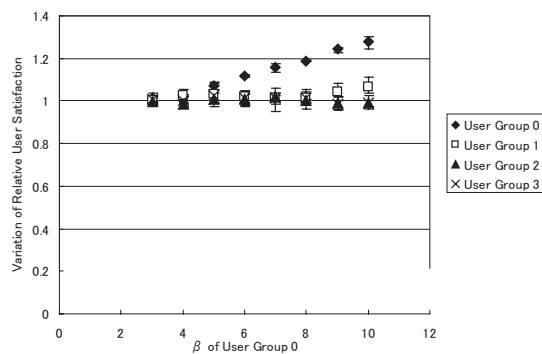


Fig. 7: Relation between Group 0's  $\beta$  and Variation of Relative User Satisfaction :  $\alpha = 0.4$

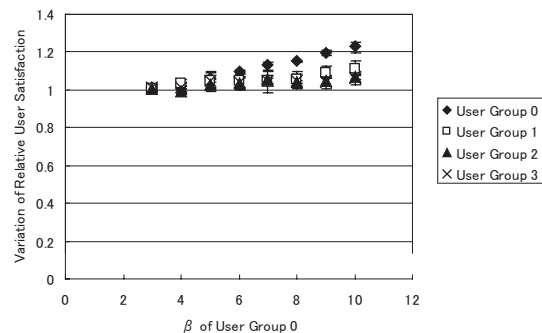


Fig. 8: Relation between Group 0's  $\beta$  and Variation of Relative User Satisfaction :  $\alpha = 0.6$

させることであり、ジョブ成功率の低下を伴うものであった。その一方で、価格調整に用いたファクターである  $\beta$  の割り当て方を変更することにより、改善の見込みがあることを示した。

今後の課題として、 $\beta$  のより良い設定値の検討、ユーザ満足度のモデルの検討などが挙げられる。

## 参考文献

- [1] W. E. Johnston, D. Gannon, and B. Nitzberg, "Grids as Production Computing Environments: The Engineering Aspects of NASA's Information Power Grid," 1999.
- [2] K. Amin, G. von Laszewski, and A. R. Mikler, "Grid Computing for the Masses: An Overview," Presented at the Second International Workshop on Grid and Cooperative Computing (GCC2003), Shanghai, China, December 2003.
- [3] Kaizar Amin, Gregor von Laszewski, and Armin R. Mikler, "Toward an Architecture for Ad Hoc Grids," Proceedings of the IEEE 12th International Conference on Advanced Computing and Communications (ADCOM 2004), December 2004, Ahmedabad, India.
- [4] Rajkumar Buyya, David Abramson, and Srikumar Venugopal, "The Grid Economy," Special Issue on Grid Computing, Proceedings of the IEEE, Manish Parashar and Craig Lee (editors), Volume 93, Issue 3, 698-714pp, IEEE Press, New York, USA, March 2005.
- [5] 祝霧蓉, "A Research on a Market-based Idle CPU Resource Allocation System," Master thesis, The University of Tokyo, 2003.
- [6] R. Jain, D. Chiu, and W. Hawe, "A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Computer Systems", DEC Research Report TR-301 Sept. 1984.