

NAIST-IS-MT0651110

## 修士論文

コミュニティ媒介性：OSS コミュニティにおけるコ  
ーディネータの媒介度合いを評価するための指標

前島 弘敬

2008年2月7日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
修士(工学)授与の要件として提出した修士論文である。

前島 弘敬

審査委員：

松本 健一 教授 (主指導教員)

関 浩之 教授 (副指導教員)

飯田 元 教授

門田 晓人 准教授 (副指導教員)

# コミュニティ媒介性：OSS コミュニティにおけるコーディネータの媒介度合いを評価するための指標\*

前島 弘敬

## 内容梗概

Open Source Software (OSS) コミュニティにおけるソフトウェア開発は，開発者やユーザなどの参加者同士の共同作業によって成り立つことから，OSS コミュニティ内の開発者サブコミュニティとユーザサブコミュニティの間の協調作業を支えるコーディネータが重要な役割を果たす。先行研究において，成功 OSS コミュニティと衰退 OSS コミュニティを比較し，コーディネータが 2 つのサブコミュニティを媒介する際のコミュニケーション構造に大きな違いがあることを確認した。成功 OSS コミュニティのコーディネータは，開発者サブコミュニティとユーザサブコミュニティを構造的にバランスよく媒介していた。しかしながら，Freeman の中心性の 1 つである媒介中心性においては，数値的な違いを見出すことはできなかった。本論文では，2 つのサブコミュニティ間の協調作業を円滑化するコーディネータの媒介度合いを定量的に評価するためのコミュニティ媒介性を提案する。Apache コミュニティを対象としたケーススタディを行った結果，媒介中心性に比べ，提案指標が構造的にバランスよくサブコミュニティを媒介するコーディネータを適切に評価できていることを確認した。

## キーワード

コミュニティ媒介性, ソシオメトリクス, OSS コミュニティ, コーディネータ, ソーシャルネットワーク分析, コミュニケーション構造

---

\* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT0651110, 2008 年 2 月 7 日。

# **Community Betweenness : Metrics for Evaluating the Degree of Mediation of Coordinators in OSS Community\***

Hirotaka Maeshima

## **Abstract**

Since software development in Open Source Software (OSS) community heavily depends on collaboration among subcommunities such as developer-community and user-community, coordinators who assist the collaboration play important roles. Comparing successful OSS community with unsuccessful OSS community, a previous study reported that there were big differences of communication structure in the coordinators' intermediacy. This study also reported that coordinators in successful OSS community mediated between developer-community and user-community in a structurally-balanced manner, but any differences were not found in the values of Betweenness, which is one of the centrality measures proposed by Freeman. This thesis proposes Community Betweenness to quantitatively evaluate the degree of mediation of coordinators who facilitate the collaboration among subcommunities. A case study of Apache community showed that the proposed metrics appropriately evaluated the degree of mediation of coordinators, compared to the Betweenness centrality.

## **Keywords:**

Community Betweenness, Socio-Metrics, OSS Community, Coordinator, Social Network Analysis, Communication Structure

---

\* Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT0651110, February 7, 2008.

## 関連発表論文

### 研究会・シンポジウム

1. 前島 弘敬, 梶本 真佑, 亀井 靖高, 柿元 健, 大西 洋司, 大平 雅雄, 松本 健一, コーディネータのコミュニティ媒介性の評価指標の提案, 情報処理学会, 情報処理学会シンポジウム, グループウェアとネットワーク研究会, グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2007 (GNWS2007), pp.71–76, Nov. 2007.

## その他の発表論文

### 研究会・シンポジウム

1. 前島 弘敬, 大西 洋司, 中村 匡秀, 松本 健一, BPEL ワークフローに着目した連携 Web サービスの応答速度・稼働率の見積もり手法, 電子情報通信学会 技術研究報告 情報ネットワーク研究会, pp.465–470 , Mar. 2007.

# 目 次

1. はじめに	1
2. OSS コミュニティにおけるコーディネータの分析	4
2.1 OSS コミュニティにおけるコーディネータ	4
2.1.1 OSS コミュニティにおけるソフトウェア開発の特徴	4
2.1.2 OSS コミュニティにおけるコーディネータの役割	5
2.1.3 OSS コミュニティにおけるコミュニケーション構造	6
2.2 ソーシャルネットワーク分析	7
2.2.1 ネットワークの定義	7
2.2.2 コーディネータ分析のための中心性指標	8
2.2.3 時系列ネットワーク分析	10
3. 関連研究	13
3.1 OSS コミュニティにおけるソフトウェア開発の分析	13
3.2 協調作業におけるコーディネータの分析	14
3.3 コーディネータ分析のためのソーシャルネットワーク分析指標	16
4. 提案指標	17
4.1 コーディネータの媒介の構造的特徴	17
4.2 調和平均に基づくコミュニティ媒介性指標	18
4.2.1 重みなしコミュニティ媒介性	21
4.2.2 エッジ重み付きコミュニティ媒介性	22
4.2.3 ノード重み付きコミュニティ媒介性	23
5. ケーススタディ	25
5.1 概要	25
5.2 対象データ	25
5.3 結果	27
5.3.1 重みなしコミュニティ媒介性に関する結果と考察	28

5.3.2 エッジ重み付きコミュニティ媒介性に関する結果と考察	39
5.3.3 ノード重み付きコミュニティ媒介性に関する結果と考察	48
<b>6. 考察</b>	<b>57</b>
6.1 提案指標の長所	57
6.2 提案指標の利用方法	60
6.3 提案指標の拡張	60
<b>7. おわりに</b>	<b>62</b>
<b>謝辞</b>	<b>64</b>
<b>参考文献</b>	<b>66</b>

## 図 目 次

1 OSS コミュニティにおけるコミュニケーション構造	7
2 ネットワークの例	8
3 ネットワーク構造の時系列分析方法	12
4 コーディネータのコミュニケーション構造	18
5 コーディネータによるコミュニティ間の媒介	19
6 媒介の構造のパターン	20
7 媒介中心性と重みなしこミュニティ媒介性の推移	31
8 OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造（2006年2月）	32
9 OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造（2006年9月）	33
10 $c_1$ のコミュニケーション構造（2006年2月）	36
11 $c_2$ のコミュニケーション構造（2006年2月）	37
12 $c_1$ のコミュニケーション構造（2006年9月）	38
13 媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性の推移	42
14 OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造（2005年11月）	43
15 $c_6$ のコミュニケーション構造（2005年11月）	46

16	$c_7$ のコミュニケーション構造（2005年11月）	47
17	媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性の推移	51
18	OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造（2005年10月）	52
19	$c_7$ のコミュニケーション構造（2005年10月）	55
20	$c_8$ のコミュニケーション構造（2005年10月）	56
21	$c_{11}$ のコミュニケーション構造（2006年9月）	59
22	コーディネータ間の媒介	61

## 表 目 次

1	Apache コミュニティの基本統計量（参加人数とメッセージ数）	26
2	媒介中心性と重みなしコミュニティ媒介性の比較（2006年2月）	34
3	媒介中心性と重みなしコミュニティ媒介性（2006年9月）	35
4	媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性の比較（2005年11月）	44
5	媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性の比較（2006年9月）	45
6	媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性の比較（2005年10月）	53
7	媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性の比較（2006年9月）	54
8	媒介中心性と3つのコミュニティ媒介性の比較	58

## 1. はじめに

近年，行政機関や教育機関において Open Source Software ( OSS ) の導入が進みつつある [33] . 無償で利用可能であるという OSS の従来からのメリットに加えて，機能や品質の面で商用ソフトウェアにも引けをとらない OSS が増えているためである．情報サービス企業が OSS を活用して IT ソリューションを顧客に提供する事例も数多く報告されており [34] , ビジネスをおこなう上でも OSS の重要性が高まっている．

一般的な OSS 開発は，開発者やユーザからなる参加者が WWW 上に形成した OSS コミュニティにおいて，ルールや指揮系統の少ない個人間のやりとりを通じて自由に行われる [9] . しかしながら，コミュニティ主導型の OSS 開発では何らかの原因により停滞や中止を余儀なくされる場合も多く [23, 24] , ユーザが継続的なサポート（バグ修正や機能追加など）を得られなくなることがある．そのため，商用ソフトウェアの代替肢として企業や組織で大規模に OSS を導入・利用しようとする際には極めて慎重な判断が求められる．OSS が社会基盤として普及しつつある現在，OSS コミュニティの活動に対して将来的な見通しを得るための方策を構築することが社会的にも強く求められている．

このような背景から，OSS コミュニティにおける開発プロセスの実態や OSS コミュニティの成功要因を明らかにしようとする研究が盛んに行われている [6, 15, 16, 18, 21, 22, 29, 32] . OSS コミュニティの分析により得られた知見の中で特に注目されているのは，OSS コミュニティにおける協調作業の円滑化に貢献するコーディネータの存在である [1, 2, 5, 14, 30] . 厳格なルールや指揮系統を持たないコミュニティ主導型の OSS 開発であっても，ある程度の秩序と規律を保ちながら円滑に協調作業を進めることができることが OSS コミュニティにおけるソフトウェア開発には必要なためである．

先行研究の多くは OSS コミュニティ内に形成された開発者コミュニティにおけるコーディネータを分析したものである．しかしながら，Raymond が自身の豊富な OSS コミュニティ運営経験に基づいて従来より指摘しているように，OSS コミュニティの成功には OSS コミュニティに参加する開発者とユーザとの協調作業が非常に重要である [25] . 開発者からユーザへのサポートは，ユーザの継続

的な OSS の使用やコミュニティへの帰属意識を喚起し、コミュニティの活性化につながる。一方、ユーザから開発者へのフィードバック（バグ報告や機能追加要求など）は、開発者の継続的な OSS 開発への動機付けとなり OSS の品質や性能の向上につながる。したがって、開発者コミュニティのみを対象としたコーディネータの分析だけでは OSS コミュニティの成功要因を理解するには不十分であり、OSS コミュニティにおける開発者コミュニティとユーザコミュニティの間の協調作業を支えるコーディネータの分析が必要となる。

Matsumoto らは開発者コミュニティとユーザコミュニティの間の協調作業を支えるコーディネータを特定し、コーディネータが 2 つのコミュニティの協調作業をどの程度媒介しているかの度合いを、ソーシャルネットワーク分析 [26, 27] の一手法である中心性分析に基づき評価している [20, 31]。その結果、成功 OSS コミュニティと衰退 OSS コミュニティを比較した場合、コーディネータが 2 つのコミュニティを媒介する際の情報伝達の経路（コミュニケーション構造）に大きな違いが存在することが確認された。しかしながら、コーディネータの媒介度合いを定量的に評価するための指標である Freeman の媒介中心性 [10] については、数値的な違いを見出すことができなかった。その原因是、従来提案されている媒介中心性が単一のコミュニティ内でコーディネータが人々を媒介する度合いを評価するための指標であり、開発者コミュニティとユーザコミュニティのように 2 つのコミュニティを媒介するコーディネータの評価を想定したものではないためであった。

そこで本研究は、2 つのコミュニティ間の協調作業を円滑化するコーディネータの媒介度合いを定量的に評価するための指標としてコミュニティ媒介性を提案する。コミュニティ媒介性は、コーディネータが (1) 多くの開発者とユーザを媒介する特徴を表すための重みなしコミュニティ媒介性、(2) 開発者とユーザを頻繁に媒介する特徴を表すためのエッジ重み付きコミュニティ媒介性、(3) それぞれのコミュニティにおいて中心的な人物同士を媒介する特徴を表すためのノード重み付きコミュニティ媒介性の 3 つの指標からなる。コミュニティ媒介性に基づき OSS コミュニティのコーディネータを分析することにより、OSS に対するフィードバックの充実度やユーザサポートの充実度を定量的に評価することが可能にな

り，商用ソフトウェアの代替肢として OSS を選択する際の判断材料に役立つものと期待できる。

以降，2章では本研究が対象とする OSS コミュニティにおけるコーディネータについて述べるとともに，コーディネータを分析するためのソーシャルネットワーク分析について述べる。3章では，関連研究として OSS コミュニティを対象としたコーディネータの分析および分析手法について述べ従来研究の問題点を明らかにする。4章では，本研究が提案するコミュニティ媒介性指標について詳述する。5章では，提案指標の妥当性を確認するために Apache コミュニティを対象としておこなったケーススタディについて報告し，6章でその結果についての議論を行う。7章では，ケーススタディにより得られた知見から考察をおこない，本研究の今後の展望について述べる。最後に，8章において本論文をまとめる。

## 2. OSS コミュニティにおけるコーディネータの分析

本章ではまず、本研究が対象とする OSS コミュニティにおけるコーディネータについて述べる。次に、コーディネータを分析するための従来手法である中心性分析について説明をおこなう。

### 2.1 OSS コミュニティにおけるコーディネータ

#### 2.1.1 OSS コミュニティにおけるソフトウェア開発の特徴

Open Source Software (OSS) とは、ソフトウェアの設計図にあたるソースコードが無償で公開され、自由に改良や再配布が可能なソフトウェアのことを指す。OSS 開発は、一般的なソフトウェア開発企業が取る開発環境と比べて以下のような特徴がある。

##### (1) 開発者が自由に参加 / 脱退することが可能

OSS コミュニティは不特定多数の開発者が自由に参加 / 脱退することが可能である。OSS 開発の初期段階ではコミュニティの創立者を中心に成果物（ソフトウェア）が作り出されるが、開発が進むにつれ多数の開発者が参加しコミュニティが拡大する。大規模なコミュニティでは開発者が 200 人以上になることもある [24]。

##### (2) ボランティアでの参加が基本

参加する開発者への対価として金銭的な報酬がある場合は極稀であり、その参加動機としては世界中の参加者との協調作業の魅力や、開発技術の学習や共有などの個人の知的好奇心の充足による場合が多い [6, 15, 32]。OSS コミュニティへの参加により得られるこれらの対価は、参加するコミュニティの規模が大きく参加者が密なコミュニケーションを取るほど大きく、モチベーションの維持に繋がる。

##### (3) 厳格な指揮系統が存在しない

開発者が自由に参加するため開発者間での厳格な指揮系統は存在せず、バザールでの売買のような個人中心で自由な環境で開発が行われる [25]。このため開発者のコミュニケーション構造は、木構造のような整理された指揮系統ではなく、動的に参加者が増減し相互に絡み合う複雑な構造を取る。

#### (4) ユーザ参加型コミュニティ

OSS コミュニティではユーザが重要な役割を果たす。ユーザからの反応は外部市場からの評価であり、開発者が社会的なニーズに対応しているという実感を与える [15, 25]。つまり、ユーザは成果物の享受者であると同時に、開発者へのモチベーションの提供者でもある。また、ユーザによるソフトウェアの欠陥の発見と報告という行為の重要性から、ユーザを共同開発者と位置付ける場合も多い [25]。このようにユーザは OSS コミュニティ内において極めて重要な役割を果たす。

#### (5) ネットワークを介した分散開発環境

地理的に離れた世界中の参加者が、ネットワークを介して開発を行う。したがって、コミュニケーションを取るための手段としては、メーリングリスト (ML) や掲示板などの非対面かつ非同期な媒体が基本となる。つまり、ML や掲示板などのコミュニケーションメディアが参加者のコミュニケーション構造に大きな影響を与える [28]。

### 2.1.2 OSS コミュニティにおけるコーディネータの役割

参加 / 脱退が自由（特徴 1）な OSS コミュニティでは、厳密なルールや指揮系統が存在しない（特徴 3）。また、対面でのコミュニケーションはほとんど無くオンラインでのコミュニケーションが意思疎通を図る手段となる（特徴 5）。そのため、個人が完全に自由に開発を行うのではなく、参加者同士のコミュニケーションを通じてそれぞれの進捗状況や意思の統一を図る必要がある。参加者同士のコミュニケーションが十分でないと、開発の進捗に遅れをきたしたり、同じタスクに取り組む参加者が現れるなど開発プロセスに影響を及ぼす可能性がある。したがって、OSS コミュニティでのソフトウェア開発では、参加者同士のコミュ

ニケーションを促し進捗状況の共有や意思統一を手助けする人物（本研究におけるコーディネータ）の存在が重要になると考えられる。

また、OSS コミュニティではユーザが重要な位置付けにある（特徴4）。ユーザからのバグ報告や機能追加要求などのフィードバックによって、OSS の品質や機能の向上といった市場の要求するソフトウェアの実現に繋がる。しかし一般に、OSS コミュニティでは役割や活動内容に応じて複数の ML や掲示板が設置されている。開発者とユーザは通常別々の ML や掲示板で議論しており、OSS コミュニティの内には、開発者およびユーザによるサブコミュニティがそれぞれ形成されているとみなすことができる。サブコミュニティの形成により両者間のコミュニケーションが阻害されてしまっていることが多い。このような場合、開発者およびユーザの両方のサブコミュニティに所属し、両者の議論や意見交換において開発者とユーザとを媒介するコーディネータが OSS コミュニティにおける協調作業の円滑化を促す重要な役割を担っていると考えられる。

### 2.1.3 OSS コミュニティにおけるコミュニケーション構造

OSS コミュニティはネットワークを介した分散開発環境であるため、ML や掲示板を通じた非対面でかつ非同期なコミュニケーションを基本とする（特徴3）。対面でのコミュニケーションが大きな役割を占める一般的なソフトウェア開発とは異なり、OSS コミュニティでは、ML や掲示板などのコミュニケーションメディアが参加者間の情報伝達の経路（コミュニケーション構造）に大きな影響を与える。したがって、OSS コミュニティにおけるコミュニケーション構造は、ML や掲示板などでのメッセージの送信者と返信者の関係から構成されるとみなすことができる。

図1は OSS コミュニティにおけるコミュニケーション構造を表したものである。本論文では、分析対象とする OSS コミュニティでの参加者をノードとして表し、参加者同士のメッセージの送受信関係をエッジとして OSS コミュニティのコミュニケーション構造を定義する。また、開発者コミュニティとユーザコミュニティの両方に属するノードをコーディネータとして表す。

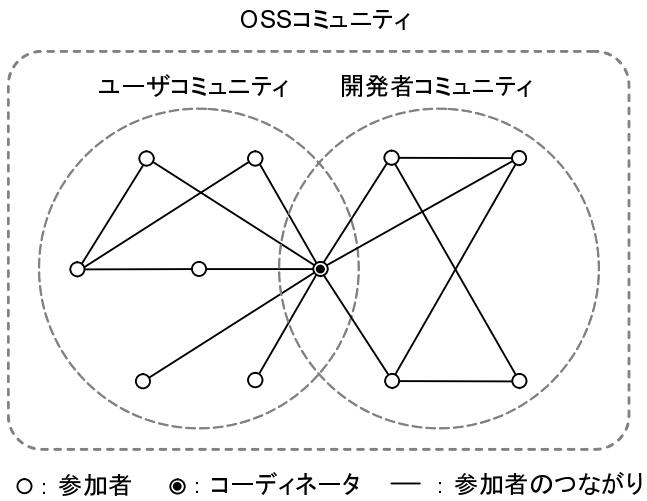


図 1 OSS コミュニティにおけるコミュニケーション構造

## 2.2 ソーシャルネットワーク分析

3章の関連研究で挙げるようく、協調作業の円滑化に貢献するコーディネータを分析する手段としてソーシャルネットワーク分析が利用されている。ソーシャルネットワーク分析とは、人々の社会的な関係性をネットワーク構造として表し、ネットワーク構造的にどのような特徴を有しているのかを明らかにするための手法である。本論文では、人々の社会的関係性を ML 内でのメッセージの送受信関係としてとらえる。

以降では、ソーシャルネットワーク分析を理解する上で必要な各種用語と、コーディネータの分析で利用される代表的な指標である Freeman の提案する 3 つの中心性指標（次数中心性、近接中心性、媒介中心性）について述べる。

### 2.2.1 ネットワークの定義

前節のコミュニケーション構造を図 2 に示すネットワークとして表現する。各点（ノード）とそれぞれをつなぐ線（エッジ）の集合をネットワークとする。以下、ネットワーク全般の用語（次数、経路、距離）について図 2 を用いて説明する。

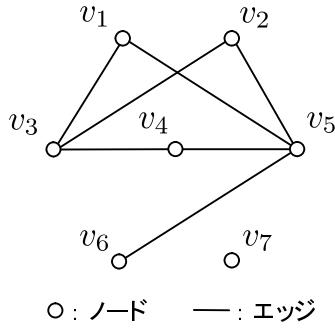


図 2 ネットワークの例

- 次数：あるノードの持つエッジの数である。例えば、ノード  $v_1$  の次数は 2 である。
- 経路：あるノードから他のノードへ到達するために通るノードの順路である。例えば、 $v_1$  から  $v_6$  への経路は、 $v_1 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$  や  $v_1 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$  などがある。
- 距離：あるノードから他のノードへの経路の長さである。例えば、経路  $v_1 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$  の距離は 2 であり、経路  $v_1 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$  の距離は 4 である。また、 $v_i$  から  $v_j$  への経路のうち、距離が最も短い経路を最短経路、その距離を最短経路長と呼ぶ。例えば、 $v_1$  から  $v_6$  の最短経路は  $v_1 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$  で、最短経路長は 2 である。また、 $v_7$  のように、他のノードと非連結なノードの距離は無限大となる。

### 2.2.2 コーディネータ分析のための中心性指標

中心性の指標は、分析対象とするネットワークにおいて、各ノードがどの程度中心的な立場にあるのかを表す。Freeman の 3 つ中心性指標は、それぞれ異なった観点から中心的な立場をとらえる。

#### 次数中心性

ノード  $v_i$  の次数中心性  $C_{degree}(v_i)$  は、ネットワーク内でノード  $v_i$  が取りう

る最大の次数によって，実際の  $v_i$  の次数を正規化した値である．次数中心性は，式(1)のように定式化できる．

$$C_{degree}(v_i) = \frac{deg(v_i)}{n - 1} \quad (1)$$

ここで， $n$  はネットワーク内のノード数を， $deg(v_i)$  は  $v_i$  の次数を表す． $C_{degree}(v_i)$  は最小 0 から最大 1 までの値を取り，値が 1 に近いほど次数中心性が高い．次数中心性が高いノードは，ネットワーク内で他のノードと隣接するエッジの多いハブとなるノードであるとみなすことができる．

### 近接中心性

ノード  $v_i$  の近接中心性  $C_{closeness}(v_i)$  は，ノード  $v_i$  から他のノードへの最短経路長の理論上最小となる総和を，実際の最短経路長の総和によって除した値である．近接中心性は，式(2)のように定式化できる．

$$C_{closeness}(v_i) = \frac{n - 1}{s(v_i)} \quad (2)$$

ここで， $s(v_i)$  はノード  $v_i$  から自身を除くノードそれぞれへの最短経路長の総和を， $n$  はネットワーク内のノード数を表す． $C_{closeness}(v_i)$  は最小 0 から最大 1 までの値を取り，値が 1 に近いほど近接中心性が高い．近接中心性が高いノードは，他のノードに短い距離で到達可能なノードであるため，ネットワーク全体に対して効率良く情報を伝達，収集しているノードとみなすことができる．また， $v_i$  と他のノード  $v_j$  が非連結で到達不可能な場合は距離が無限大であるため，本論文では松尾ら [35] と同様， $v_i$  と  $v_j$  の距離を  $n$  と定義する．

### 媒介中心性

ノード  $v_i$  の媒介中心性  $C_{betweenness}(v_i)$  は，他の 2 つノード  $v_j$  から  $v_k$  への最短経路にノード  $v_i$  が含まれる割合である．媒介中心性は，式(3)のように定式化できる．

$$C_{betweenness}(v_i) = \frac{\sum_{j < k}^n \sum_{j < k}^n p_{jk}(v_i)}{\sum_{j < k}^n \sum_{j < k}^n p_{jk}} \quad (3)$$

ここで， $n$  はネットワーク内のノード数を， $p_{jk}$  は  $v_j$  から  $v_k$  への最短経路， $\sum_{j < k}^n \sum_{j < k}^n p_{jk}$  は  $v_j$  から  $v_k$  への最短経路の総数を表し， $\sum_{j < k}^n \sum_{j < k}^n p_{jk}(v_i)$  は  $v_i$  を含む  $v_j$  から  $v_k$  への最短経路の総数を表す。

$C_{betweenness}(v_i)$  は最小 0 から最大 1 までの値を取り，値が 1 に近いほど媒介中心性が高い。媒介中心性が高いノードほど，他のノードを媒介する度合いが高いノードである。したがって，媒介中心性の高いノードは，ネットワーク内で重要なコネクションを築いているノードとみなすことができる。

### 2.2.3 時系列ネットワーク分析

本論文では，参加者のコミュニケーション構造は ML への返信の有無によって構築する。例えば，参加者 A の ML への投稿に対して，参加者 B がメッセージを返信をした場合，参加者 B から参加者 A への有向エッジを築く。しかし，コミュニケーション構造は時間の経過とともに変化するはずであるため，分析対象すべての期間のメッセージデータを用いて 1 つのコミュニケーション構造を構築し，その構造を分析することは不適切である。そのため，ある一定期間ごとにコミュニケーション構造を求め，各指標を算出する必要がある。

コミュニケーション構造を構築する期間については，ある一定期間  $P$  ごとに構築するものとし，構築する期間  $P$  の開始時期を一定期間（例えば， $P/2$ ）ずつスライドさせる Sliding Time Method[17] を用いる。図 3 は本研究が用いる Sliding Time Method を示すものであり，個々のネットワークは時間の経過に伴い変化するネットワークを表している。

本論文で用いる Sliding Time Method は，分析の期間が重複しない図 3 の(1)や(2)のような期間の区切り方と比べて，コミュニケーション構造を適切に捉えることができる。例えば，期間  $P_2$  と  $P_3$  にまたがる間に参加者同士でコミュニケーションが行われた場合，図 3 の(1)(2)ではコミュニケーションの有無を検

出できないが，一定期間ずつスライドさせる Sliding Time Method では， $P_2+P_3$  の期間において，コミュニケーションの有無を検出できる．また，Sliding Time Method は，コミュニケーション構造の変化を捉えやすい．例えば，図 3 に示すように， $P_2+P_3$  の期間での Sliding Time Method によるコミュニケーション構造では，コミュニケーションの活発さが反映されているが，(1)，(2) では反映できていない．

本論文では，OSS コミュニティにおける開発者のコミュニケーション構造を分析した研究と同様，コミュニケーション構造を構築する期間  $P$  を 3ヶ月，スライドさせる期間を 1ヶ月とした．また，各指標値は，ある一定期間のコミュニケーション構造を構築した期間の終了時期のネットワークから算出される．なお，コーディネータは，期間  $P$  の間に 2つの ML（開発 ML とユーザ ML）に一度でもメッセージを送信した人物とする．

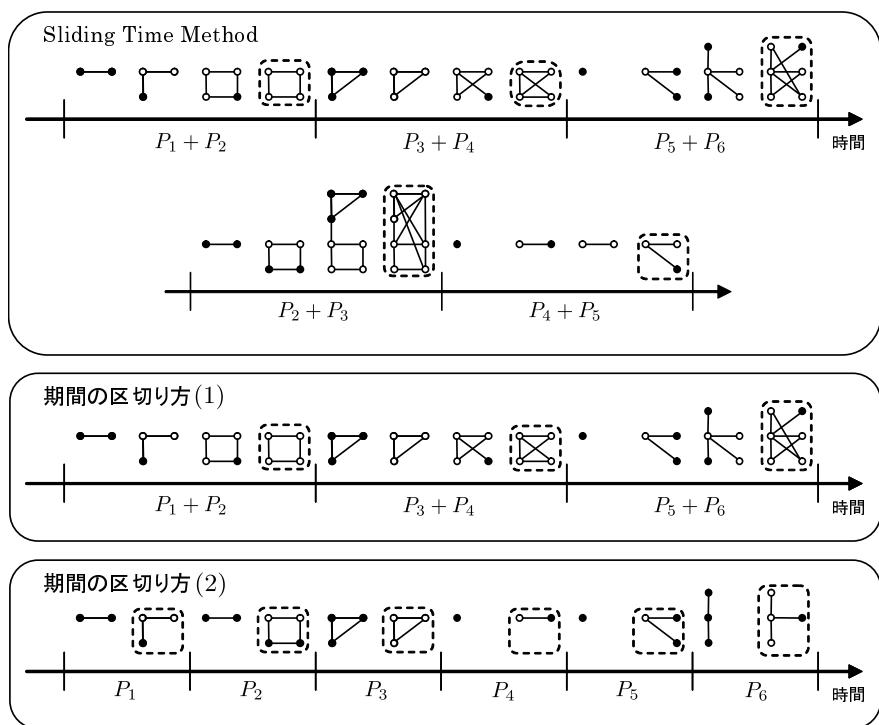


図 3 ネットワーク構造の時系列分析方法

### 3. 関連研究

#### 3.1 OSS コミュニティにおけるソフトウェア開発の分析

OSS コミュニティによるソフトウェア開発の理解を目的とした研究がこれまで数多く報告されている。

Mockus ら [21] は、Apache コミュニティと Mozilla コミュニティでのソフトウェア開発の実態を、CVS (Concurrent Versions System) データおよびバグ報告データを用いて調査しその結果を報告している。開発者全体の人数、主な開発者的人数、バグの含有密度、バグの修正期間などに着目した上で分析をおこなった結果、ソースコードの追加の 88% と、バグの修正の 66% が、全体のわずか 4% の開発者によって行われていることを明らかにした。また、German らの Ximian コミュニティを対象とした分析 [11] でも同様の報告がなされている。これらの研究では、OSS コミュニティに参加する開発者個人の活動量に着目した分析がおこなわれている。

一方、Ye ら [29] や Jensen ら [16] は、OSS コミュニティに所属する開発者が OSS 開発を継続する理由や、OSS 開発への継続的参加を通じて開発者がコミュニティの中心メンバへと昇進するプロセスを分析している。分析の結果、ユーザからの要望に応えることで開発者が社会的ニーズを満たしているという充足感を感じているという事実や、OSS コミュニティへの正統的周辺参加 [19] が開発者の帰属意識や開発への動機付けに寄与することなどを明らかにしている。

上述の研究は、継続的に OSS が開発・保守されるかどうかなど、OSS コミュニティにおけるソフトウェア開発の将来展望に関する重要な示唆を与えるものである。しかしながら、開発者個人の活動量や動機付けの分析に重点が置かれたものであり、OSS コミュニティにおける開発者とユーザの協調作業のプロセスやコーディネータについての分析は十分ではない。本研究は、Raymond が指摘する開発者とユーザの協調作業の重要性 [25] に着目してコーディネータを分析するための指標を提案しようとするものであり、本節で挙げた先行研究とは着目する観点が大きく異なる。

### 3.2 協調作業におけるコーディネータの分析

OSS コミュニティにおけるコーディネータを分析した研究には，Crowston ら [5, 14] や Bird ら [1, 2] の研究がある。OSS コミュニティにおけるコーディネータの分析には，ソーシャルネットワーク分析 [26, 27] の一手法である Freeman の中心性分析 [10] が用いられる。Crowston らは，複数の OSS コミュニティを対象にコーディネータとしての役割を担う開発者の中心性を時系列で分析している。その結果，中心性が常に高い開発者が存在するコミュニティと開発者の中心性の変動が激しいコミュニティが存在することがわかり，開発者の中心性とコミュニティの安定性とに関係があるという可能性を示唆している。Bird らは，開発者の CVS コミット回数と中心性とに相関があることを発見し，中心性が高い開発者はどの OSS コミュニティでの協調作業に多く関与していると報告している。

国際化によって業務の分散作業の機会が増えていることから，OSS コミュニティに限らず企業や組織におけるコーディネータの分析についても報告が増えてきている。Hossain らは，企業内のソーシャルネットワークを大量の e-mail データを用いて分析し，従業員の作業の調整能力と中心性との間に相関があることを報告している [13]。Hinds らは地理的に分散して作業を行っているチームと同じ場所で作業を行っているチームの作業の調整（コーディネーション）のしやすさについての比較をおこない，組織のコミュニケーション構造によっては同じ場所で作業を行っているチームの方が必ずしも作業の調整をおこないやすいという訳ではないことを明らかにした [12]。

上述の先行研究は，ソーシャルネットワーク分析に基づいて OSS コミュニティや企業におけるコーディネータを分析したものであるが，これらの研究は単一のコミュニティあるいは企業におけるコミュニケーション構造を対象としたものである。

これらの研究に対して，Matsumoto らは OSS コミュニティにおける開発者コミュニティとユーザコミュニティの橋渡し的役割を担い協調作業の円滑化に寄与するコーディネータを分析をおこなっている [20, 31]。Apache および GIMP を成功 OSS コミュニティ，Netscape を衰退 OSS コミュニティと捉え，それぞれの OSS コミュニティにおいて開発者とユーザを媒介するコーディネータのコミュニケ

ション構造の分析を行った。コーディネータの評価には、媒介の度合いを表す媒介中心性指標を用いている。その結果、コミュニケーション構造の観点では、成功コミュニティ（Apache, GIMP）のコーディネータは開発者とユーザとバランスよくエッジを築いている（コミュニケーションをおこなっている）のに対して、衰退コミュニティ（Netscape）のコーディネータは開発者またはユーザのいずれかのサブコミュニティに偏ったエッジを築いているという特徴があることを確認した。しかしながら、媒介中心性指標はサブコミュニティへのエッジの偏りを考慮していないため、成功コミュニティと衰退コミュニティのコーディネータの媒介度合いは数値的に違ひがないことがわかった。

そこで本研究は、媒介中心性の問題点を解消し、開発者コミュニティとユーザコミュニティの協調作業を円滑化するコーディネータの媒介度合いをより適切に評価する指標コミュニティ媒介性を提案する。コミュニティ媒介性については4章において詳しく述べる。

### 3.3 コーディネータ分析のためのソーシャルネットワーク分析指標

3.2 節で述べた先行研究は，Freeman の 3 つの中心性指標（次数中心性，近接中心性，媒介中心性）[10] を用いてコーディネータの分析を行っている。本節では，コーディネータの分析に用いることが可能な他のソーシャルネットワーク分析指標について述べる。

Freeman の 3 つの中心性指標は，ネットワーク内のいずれのノードも対等に扱うという特徴がある。これに対して，Bonacich らは各ノードの中心性の値の違いに着目し，中心性の高いノードとつながるノードほど中心性は高くなるという考え方に基づいたボナチッち中心性を提案している [3, 4]。Bonacich らの提案する指標は Freeman の中心性指標と同様，単一のコミュニティへの適用を想定した指標である。単一のコミュニティにおける重要度の高いコーディネータを分析する場合には Freeman の中心性指標よりも有用性が高いと考えられる。しかしながら，本研究が対象とする 2 つのコミュニティに属するコーディネータを評価する指標としては適していない。

また，Faust らは，Freeman や Bonacich らの提案する指標を拡張し，所属関係ネットワークに適用可能な所属媒介中心性指標を提案している [7, 8]。所属関係ネットワークとは，個人を表すノードと組織を表すノードによって，個人と組織の二重性をモデル化した 2-mode ネットワークである。個人と組織の二重性とは，個人は組織を介して他の個人と関係を築き，組織は個人を介して他の組織と関係を築くといったように，個人と組織の関係は相互に依存しあうものであることを意味している。しかしながら，Faust の提案する所属媒介中心性は，異なる組織間を媒介する度合いのみを評価したり，媒介の方向を考慮していない。それに対して，本論文の提案するコミュニティ媒介性は，異なる組織（コミュニティ）を媒介する度合いを評価できるだけでなく，媒介の方向を考慮してコーディネータの媒介度合いを評価する点が異なる。

## 4. 提案指標

### 4.1 コーディネータの媒介の構造的特徴

コーディネータは開発者コミュニティとユーザコミュニティ、2つのコミュニティに属し、開発者とユーザとの間で橋渡し的役割を担う存在である。図4は、コーディネータのコミュニケーション構造を示し、コーディネータが開発者コミュニティとユーザコミュニティ双方とコミュニケーションを行うことができる様子を表している。

図4に示すとおり、コーディネータは異なるコミュニティに属するノードを媒介（コミュニティ間の媒介）するだけでなく、同じコミュニティに属するノードを媒介（コミュニティ内の媒介）することができる。コミュニティ間の媒介はそれぞれのコミュニティの参加者相互にとって重要である一方、コミュニティ内の媒介は各コミュニティの参加者にとって重要である。

本論文では、コーディネータは開発者とユーザとの間で橋渡し的役割を担う存在であると捉えているため、コミュニティ間の媒介がコーディネータの橋渡し的役割を評価する上で重要であると考える。しかしながら、媒介中心性では参加者が属するコミュニティの違いを考慮せず、単一のコミュニティとして捉えるため、開発者もしくはユーザ同士の媒介と開発者とユーザの媒介の違いを区別することができない。したがって、コーディネータがコミュニティ間を媒介する度合いのみを評価したい場合は、従来の媒介中心性指標では不適切であるといえる。そのため、コーディネータの媒介の度合いを評価するためには、媒介する対象が開発者であるか、またはユーザであるかを考慮した指標が必要であるといえる。

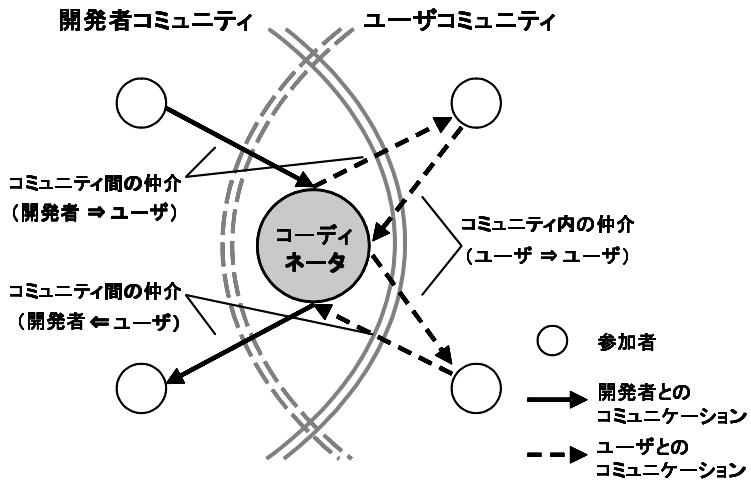


図 4 コーディネータのコミュニケーション構造

#### 4.2 調和平均に基づくコミュニティ媒介性指標

本節では、前節で述べた媒介中心性の問題点に対して、コーディネータがコミュニティ間を媒介する構造に着目することで問題の解決を図る。図5は、コーディネータがコミュニティ間を媒介する構造を示す。コーディネータがコミュニティ間を媒介する構造は、一方のコミュニティからコーディネータを介してもう一方のコミュニティへつながるエッジの組み合わせによって表せる。そのため、コーディネータによる媒介の流れには、図5に示すように開発者コミュニティからユーザコミュニティへの媒介と、ユーザコミュニティから開発者コミュニティへの媒介、2つの流れが考えられる。

開発者とユーザの協調作業を支えるコーディネータを特定するためには、コーディネータが開発者コミュニティとユーザコミュニティを相互に媒介する度合いを評価する必要がある。そのため、本論文では、開発者コミュニティからユーザコミュニティを媒介する度合いとユーザコミュニティから開発者コミュニティを媒介する度合いの調和平均によって、コーディネータがコミュニティ間を相互に媒介する度合いを評価する方法を提案する。

以下では、コーディネータの媒介の度合いを評価するために、コーディネータ

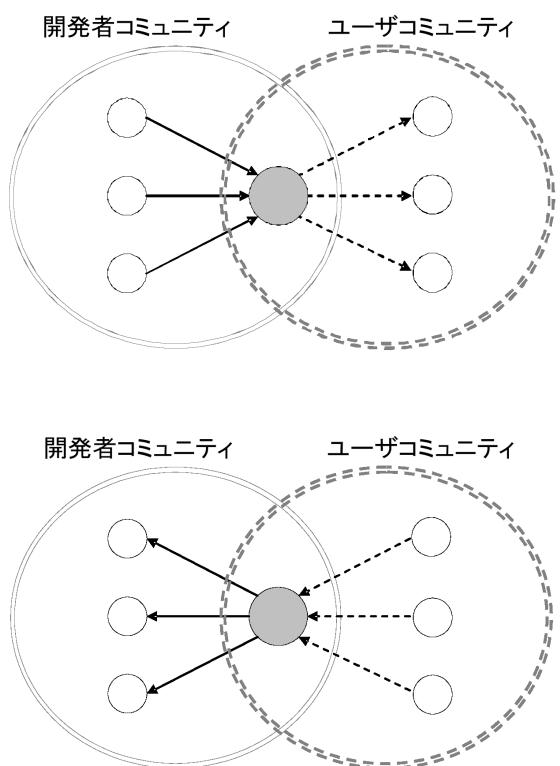
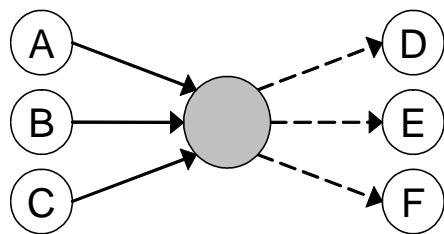
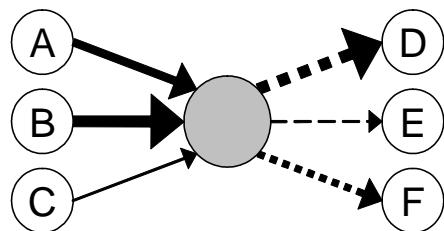


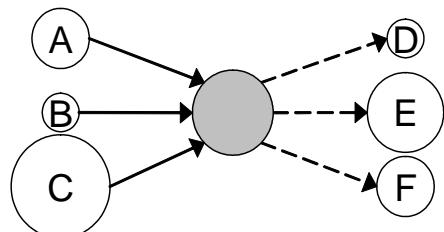
図 5 コーディネータによるコミュニティ間の媒介



(a) 重みなしこミュニティ媒介性



(b) エッジ重み付きコミュニティ媒介性



(c) ノード重み付きコミュニティ媒介性

図 6 媒介の構造のパターン

がコミュニティ間を媒介する構造的特徴に基づいた3つのコミュニティ媒介性について述べる。図6は、提案する3つのコミュニティ媒介性に対応したコーディネータの媒介の構造的特徴のパターンを示す。図6のエッジの太さは、各ノードとコーディネータとの間で行われたメッセージの送信回数を示し、ノードの大きさは、各ノードが有する次数を示す。

#### 4.2.1 重みなしこミュニティ媒介性

重みなしこミュニティ媒介性では、コーディネータが媒介する各ノードとのメッセージの送信回数や各ノードの次数を考慮せず、開発者コミュニティ（ユーザコミュニティ）からユーザコミュニティ（開発者コミュニティ）への入次数と出次数のみを考慮する。そのため、重みなしこミュニティ媒介性では、コーディネータがコミュニティ間を媒介する構造は図6(a)のように扱われる。重みなしこミュニティ媒介性では、コーディネータがコミュニティ間を媒介する度合いを、コーディネータの開発者コミュニティに対する次数とユーザコミュニティに対する次数をもとに、それらの調和平均によって評価する。

ただし、OSSコミュニティにおいては、一般的に開発者コミュニティとユーザコミュニティの規模（参加者数）が大きく異なることが知られている[31]ので、入次数／出次数が両コミュニティの規模の違いに依存しないよう考慮する。重みなしこミュニティ媒介性は以下の式で算出される。

$$C_{ICB}(v_i) = \frac{2f_1(v_i)f_2(v_i)}{f_1(v_i) + f_2(v_i)} \quad (4)$$

$$f_1(v_i) = \frac{InDegree_x(v_i)}{N_x - 1} \quad (5)$$

$$f_2(v_i) = \frac{OutDegree_Y(v_i)}{N_Y - 1} \quad (6)$$

$C_{ICB}(v_i)$	重みなしコミュニティ媒介性
$f_1(v_i)$	コミュニティ $X$ のノード数に対するコーディネータ $v_i$ の入次数の割合
$f_2(v_i)$	コミュニティ $Y$ のノード数に対するコーディネータ $v_i$ の出次数の割合
$InDegree_X(v_i)$	コミュニティ $X$ のノードからコーディネータ $v_i$ への入次数
$OutDegree_Y(v_i)$	コーディネータ $v_i$ からコミュニティ $Y$ のノードへの出次数
$N_x$	コミュニティ $X$ のノード数
$N_y$	コミュニティ $Y$ のノード数

#### 4.2.2 エッジ重み付きコミュニティ媒介性

エッジ重み付き媒介性は、コーディネータが媒介する各ノードとの間で行われたメッセージの送信回数に着目した指標である。エッジの重みとは各ノードとの間で行われたメッセージの送信回数を各ノードが属するコミュニティの規模で正規化した値を指す。エッジ重み付きコミュニティ媒介性では、各ノードとコーディネータとの間で行われたメッセージの送信回数に着目し、メッセージの送信回数が多いほど参加者を媒介する頻度が高いとして、コーディネータの媒介の度合いに反映されている。エッジの重みを考慮したコーディネータの媒介の構造は、図 6 (b) のように扱われる。ノード  $B$  からノード  $D$  への媒介のように、メッセージの送信回数の多いノード間のつながりほど媒介する頻度が高いと考える。また、コーディネータが各コミュニティを媒介する頻度は、コーディネータが各コミュニティのノードとの間で行ったメッセージの送信回数をもとに、それらの調和平均によって評価する。エッジ重み付きコミュニティ媒介性は以下の式で算出される

$$C_{ICBwithWE}(v_i) = \frac{2f_1(v_i)f_2(v_i)}{f_1(v_i) + f_2(v_i)} \quad (7)$$

$$f_1(v_i) = \frac{InEdgeWgt_x(v_i)}{N_x - 1} \quad (8)$$

$$f_2(v_i) = \frac{OutEdgeWgt_y(v_i)}{N_y - 1} \quad (9)$$

$$InEdgeWgt_X(v_i) = \sum_{i=1}^{InDegree_X} EdgeWgt_{X_p}(v_i) \quad (10)$$

$$OutEdgeWgt_Y(v_i) = \sum_{j=1}^{OutDegree_Y} EdgeWgt_{Y_q}(v_i) \quad (11)$$

$C_{ICBwithWE}(v_i)$	エッジ重み付きコミュニティ媒介性
$f_1(v_i)$	コーディネータ $v_i$ からコミュニティ $X$ へエッジ重みの総和
$f_2(v_i)$	コーディネータ $v_i$ からコミュニティ $Y$ へのエッジ重みの総和
$InEdgeWgt_X(v_i)$	コミュニティ $X$ からコーディネータ $v_i$ へのメッセージ総送信数
$OutEdgeWgt_Y(v_i)$	コーディネータ $v_i$ からコミュニティ $Y$ へのメッセージ総送信数
$EdgeWgt_{X_p}(v_i)$	コミュニティ $X$ のノード $p$ からコーディネータ $v_i$ へのメッセージ送信数
$EdgeWgt_{Y_q}(v_i)$	コーディネータ $v_i$ からコミュニティ $Y$ のノード $q$ へのメッセージ送信数

#### 4.2.3 ノード重み付きコミュニティ媒介性

ノード重み付きコミュニティ媒介性は、コーディネータがコミュニティ間を媒介する構造において各ノードの次数に着目した指標である。また、ノードの重みとは各ノードの次数を各ノードが属するコミュニティの規模で正規化した値を指す。次数の多いノードほど多くの参加者と交流しているため、コミュニティの内で中心的な立場にいるものと考える。また、中心的な立場にある参加者同士を媒介するコーディネータほど、双方のコミュニティにとって重要な役割を担っているという考えに基づき、コーディネータの媒介の度合いに反映されている。ノードの重みを考慮したコーディネータの媒介の構造は図 6(c) のように扱われる。ノード  $C$  からノード  $E$  への媒介のように、次数の多いノード間のつながりほど、重要な媒介の役割を担っていると考える。また、コーディネータがそれぞれのコミュニティにおいて中心的な人物同士を媒介する度合いは、コーディネータとつながる各コミュニティに属するノードの次数をもとに、それらの調和平均によって評価する。ノード重み付きコミュニティ媒介性は以下の式で算出される。

$$C_{ICBwithWN}(v_i) = \frac{2 \times f_1(v_i) \times f_2(v_i)}{f_1(v_i) + f_2(v_i)} \quad (12)$$

$$f_1(v_i) = \frac{InNodeWgt_X(v_i)}{N_X - 1} \quad (13)$$

$$f_2(v_i) = \frac{OutEdgeWgt_Y(v_i)}{N_Y - 1} \quad (14)$$

$$InNodeWgt_X(v_i) = \sum_{i=1}^{InDegree_X} NodeWgt_{X_p} \quad (15)$$

$$OutNodeWgt_Y(v_i) = \sum_{j=1}^{OutDegree_Y} NodeWgt_{Y_q}(v_i) \quad (16)$$

$C_{ICBwithWN}(v_i)$	ノード重み付きコミュニティ媒介性
$f_1(v_i)$	コーディネータ $v_i$ のコミュニティ $X$ に対するノード重みの総和
$f_2(v_i)$	コーディネータ $v_i$ のコミュニティ $Y$ に対するノード重みの総和
$InNodeWgt_X(v_i)$	コーディネータ $v_i$ とつながるコミュニティ $X$ のノードの次数の総和
$OutNodeWgt_Y(v_i)$	コーディネータ $v_i$ とつながるコミュニティ $Y$ のノードの次数の総和
$NodeWgt_{X_p}(v_i)$	コーディネータ $v_i$ とつながるコミュニティ $X$ のノード $p$ の次数
$NodeWgt_{Y_q}(v_i)$	コーディネータ $v_i$ とつながるコミュニティ $Y$ のノード $q$ の次数

## 5. ケーススタディ

本章では、Apache コミュニティを対象として提案指標を適用したケーススタディの結果について述べる。

### 5.1 概要

ケーススタディの目的は、開発者コミュニティとユーザコミュニティの 2 つのコミュニティの内にコーディネータの存在する OSS コミュニティを対象とし、提案指標によってコーディネータがコミュニティ間を媒介する度合いを評価できるかを確認することである。提案指標によってコミュニティ間の媒介の度合いを評価できることを確認するために、コーディネータのコミュニケーション構造を表すネットワークと、媒介中心性と提案指標の指標値をそれぞれ比較する。

なお、コミュニケーション構造は時間の経過とともに変化するため、すべての期間のデータを用いて指標値を算出することは不適切である。本論文では、2.2.3 節で述べた Sliding Time Method を用いてコミュニケーション構造を構築した。また、コミュニケーション構造を構築する期間  $P$  は 3 ヶ月とした。

### 5.2 対象データ

本論文のケーススタディで対象とした OSS コミュニティは、Web サーバ (HTTP Server) ソフトウェアとして世界一のシェアを誇る Apache の、開発者コミュニティとユーザコミュニティである。Apache コミュニティは、参加者同士のコミュニケーションの手段として ML を用いているため、開発者 ML、ユーザ ML の利用者の集まりを、それぞれ開発者コミュニティ、ユーザコミュニティとみなす。また、開発者 ML とユーザ ML では、ML が設置された期間が異なるため、ML のアーカイブデータが存在する期間は、開発者 ML は 1995 年 3 月から、ユーザ ML は 2001 年 11 月からとなる。そのため、本論文では、2 つの ML が存在する 2001 年 11 月以降の ML のアーカイブデータを用いて、コミュニケーション構造

表 1 Apache コミュニティの基本統計量（参加人数とメッセージ数）

分析対象期間			総参加人数		総メッセージ数	
開始年月	終了年月	期間(月)	開発者	ユーザ	開発者	ユーザ
2001/11	2007/08	70	1701	10722	36556	76797

を構築する。Apache コミュニティの基本統計量（参加者数とメッセージ数）を表 1 に示す。

### 5.3 結果

図 7, 13, 17 に、各期間ごとに算出したコーディネータの媒介中心性と提案する 3 つのコミュニティ媒介性の推移をそれぞれ比較した結果を示す。各期間においてコーディネータは 20 ~ 40 人程度存在するため、各指標の代表値として平均値を用いる。また、各指標は指標値の算出方法が異なるため、各指標値の平均値の最小値、最大値がそれぞれ 0, 1 となるように正規化して比較する。横軸は期間を、縦軸は正規化された各指標値の平均値を示す。グラフ中の縦線は、媒介中心性と提案指標の平均値の差が最も大きい期間を指す。

図 8, 9, 14, 18 は、各期間における OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造を示す。コミュニケーション構造では、中央に位置するノードをコーディネータとして示し、コーディネータを境界として上を開発者コミュニティ、下をユーザコミュニティとして、それぞれのコミュニティに属するノードが配置されている。また、コーディネータを媒介中心性の値が大きい順に左から配置する。

また、表 2 ~ 7 は、媒介中心性と提案指標の平均値の差が最も大きい期間において、コーディネータの媒介中心性と提案指標を比較した結果を示す。いずれの表中においても、媒介中心性と提案指標の指標値がともに 0 の値を示す人物は、自身で投稿した内容に追記してメッセージを返信して以降、誰からも返信されていないか、または、各コミュニティに対してメッセージの送信（または返信）のみしか行っていない人物である。したがって、コミュニケーション構造としてはノード同士を媒介する構造でない（ノード同士をつなぐ経路上にコーディネータが存在しない）ために、いずれの指標値ともに 0 の値を示す。

### 5.3.1 重みなしこミュニティ媒介性に関する結果と考察

図7は、媒介中心性と重みなしこミュニティ媒介性の推移を比較した結果を示す。実線は重みなしこミュニティ媒介性の推移を表し、破線は媒介中心性の推移を表す。図中の縦線は、媒介中心性と比べて重みなしこミュニティ媒介性の平均値が最も大きい期間（2006年2月）と、最も小さい期間（2006年9月）を指す。

また、図8、9は、これらの期間におけるOSSコミュニティ参加者のコミュニケーション構造を示し、表2、3は、これらの期間におけるコーディネータの媒介中心性と重みなしこミュニティ媒介性を比較した結果を示す。

媒介中心性と比べて重みなしこミュニティ媒介性の平均値が大きい期間

図8は、2006年2月におけるOSSコミュニティ参加者のコミュニケーション構造を表す。図8の中段に位置するノードは、この期間におけるコーディネータを示す。また、表2はこの期間におけるコーディネータの媒介中心性、重みなしこミュニティ媒介性、各コミュニティとの次数、各コミュニティのノード数に対する次数の割合を示す。

表2より、この期間において重みなしこミュニティ媒介性の値が大きい上位3人( $c_1 \sim c_3$ )と、表3に示す平均値の小さい期間（2006年9月）において重みなしこミュニティ媒介性の値が大きい上位3人( $c_2, c_3, c_6$ )を比較すると、この期間における $c_1 \sim c_3$ の重みなしこミュニティ媒介性の値が大きいことがうかがえる。このことから、この期間では $c_1 \sim c_3$ のように、重みなしこミュニティ媒介性の値が大きいコーディネータが存在することで平均値が大きくなったと考えられる。

また、重みなしこミュニティ媒介性によってコミュニティ間を媒介する度合いの大きいコーディネータを評価できることを確認するために、例として、 $c_1$ と $c_2$ のそれぞれのコミュニケーション構造を図10、11に示す。

それぞれのコミュニケーション構造を比較すると、図10の $c_1$ は開発者コミュニティとの次数と比べ、ユーザコミュニティとの次数に偏りがあることが見てとれる。また、表2より、各コミュニティのノード数に対する次数の割合に着目すると、 $c_1$ は開発者コミュニティ内のノードのおよそ10%と、ユーザコミュニティ内のノードのおよそ33%とコミュニケーションを行っていることがわかる。一

方，図11の $c_2$ は， $c_1$ と比べて各コミュニティとの次数に偏りは少ない。また，表2より， $c_2$ は開発者コミュニティ内のノードのおよそ30%と，ユーザコミュニティ内のノードのおよそ17%とコミュニケーションを行っていることがわかる。

このことから， $c_1$ は，各コミュニティのおよそ10%のノード同士を相互に媒介するのに対して， $c_2$ はおよそ17%のノード同士を相互に媒介する構造的特徴を有していることが確認できる。したがって，重みなしこミュニティ媒介性では，各コミュニティの多くのノード同士を相互に媒介するコーディネータを評価できていることが確認できた。

媒介中心性は $c_1$ ， $c_2$ に対して，重みなしこミュニティ媒介性とは異なった評価を与えていていることが見てとれる。したがって，媒介中心性は，各コミュニティの多くのノード同士を相互に媒介するコーディネータを評価できていないことがわかる。

#### 媒介中心性と比べて重みなしこミュニティ媒介性の平均値が小さい期間

図9は，2006年9月におけるOSSコミュニティ参加者のコミュニケーション構造を示す。図9の中段に位置するノードは，この期間におけるコーディネータを表す。また，表3はこの期間におけるコーディネータの媒介中心性，重みなしこミュニティ媒介性，各コミュニティとの次数，各コミュニティのノード数に対する次数の割合を示す。

2006年9月において重みなしこミュニティ媒介性の平均値が小さい理由については，平均値が大きい期間（2006年2月）において，それぞれの期間の上位3人（2006年2月については $c_1 \sim c_3$ ，2006年9月については $c_2, c_3, c_6$ ）を比較した際に述べた逆の理由によるためである。また，この期間において媒介中心性が最も大きい値を示す $c_1$ に着目すると，重みなしこミュニティ媒介性では0の値を示していることがわかる。したがって，このことが媒介中心性と重みなしこミュニティ媒介性の平均値に影響したといえる。

図12は， $c_1$ のコミュニケーション構造を示す。図12の $c_1$ の開発者コミュニティとのエッジに着目すると， $c_1$ から開発者コミュニティへの一方向のエッジであることがわかる。したがって， $c_1$ はこの期間において，開発者コミュニティか

らユーザコミュニティを媒介する構造でないことがわかる。本論文で提案するコミュニティ媒介性は、開発者コミュニティとユーザコミュニティを相互に媒介するコーディネータの媒介の度合いを評価する。このことから、本論文の提案するコミュニティ媒介性では、コーディネータがコミュニティ間を媒介する方向が一方向であるか双方向であるかといった構造的な特徴の違いを考慮できていることが確認できた。

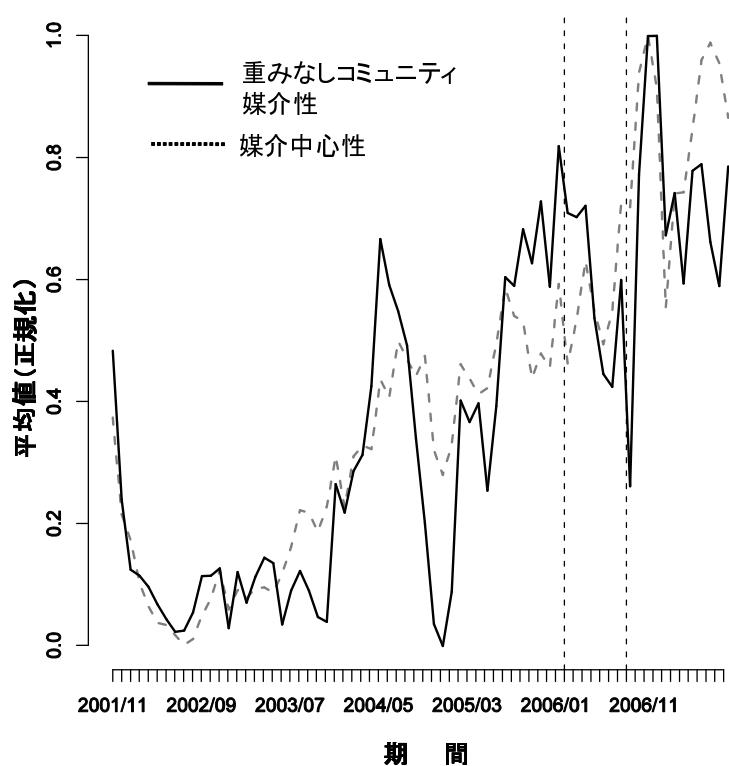


図 7 媒介中心性と重みなしコミュニティ媒介性の推移

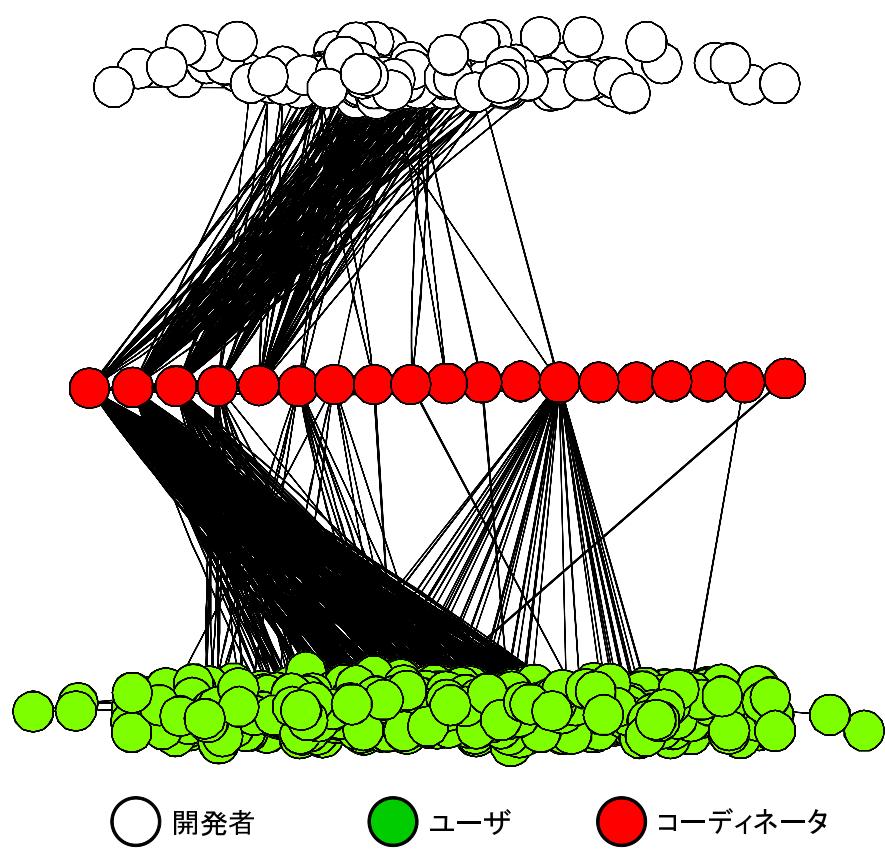


図 8 OSS コミュニティ 参加者のコミュニケーション構造 (2006 年 2 月)

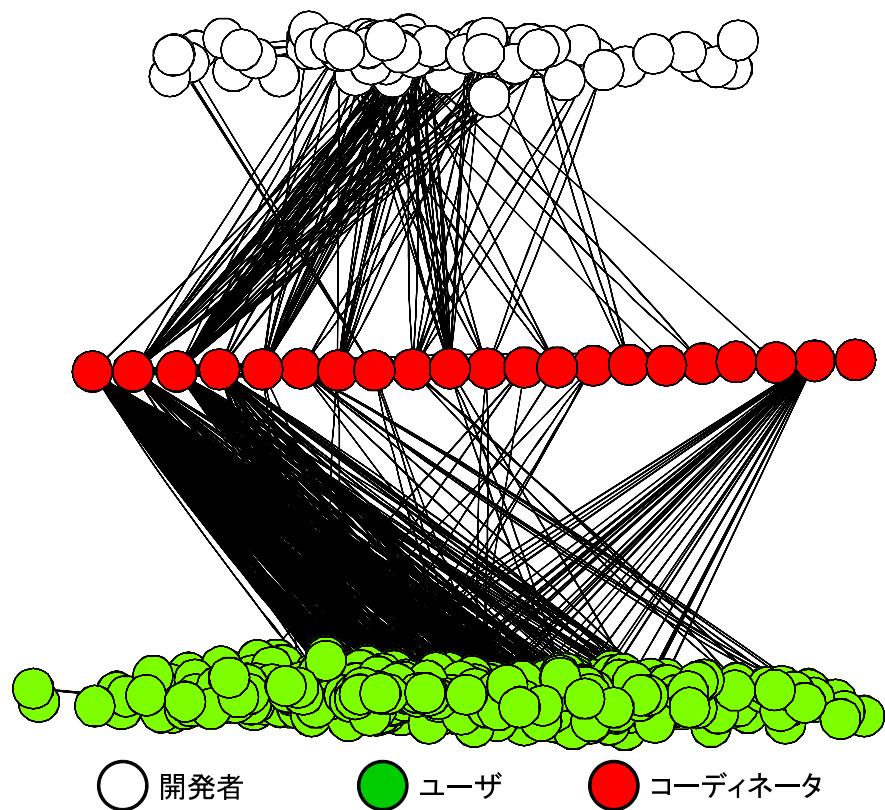


図 9 OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造（2006 年 9 月）

表 2 媒介中心性と重みなしコミュニティ媒介性の比較（2006年2月）

ID	媒介 中心性	重みなし コミュニティ 媒介性	開発者との 次数	開発者数に対する 次数の割合 ( % )	ユーザとの 次数	ユーザ数に対する 次数の割合 ( % )
$c_1$	0.095	0.075	15	10.417	186	32.348
$c_2$	0.069	0.102	43	29.861	97	16.870
$c_3$	0.048	0.062	64	44.444	45	7.826
$c_4$	0.011	0.022	21	14.583	16	2.783
$c_5$	0.007	0	47	32.639	1	0.174
$c_6$	0.004	0.011	4	2.778	12	2.087
$c_7$	0.001	0.006	3	2.083	6	1.043
$c_8$	$6.7 \times 10^{-4}$	0.004	2	1.389	4	0.696
$c_9$	$5.2 \times 10^{-4}$	0.005	2	1.389	4	0.696
$c_{10}$	$7.9 \times 10^{-5}$	0	2	1.389	1	0.174
$c_{11}$	$7.7 \times 10^{-5}$	0	1	0.694	2	0.348
$c_{12}$	0	0	2	1.389	0	0
$c_{13}$	0	0	2	1.389	44	7.652
$c_{14}$	0	0	1	0.694	2	0.348
$c_{15}$	0	0	0	0	1	0.174
$c_{16}$	0	0	0	0	2	0.348
$c_{17}$	0	0	0	0	0	0
$c_{18}$	0	0	0	0	2	0.348
$c_{19}$	0	0	0	0	1	0.174

表 3 媒介中心性と重みなしコミュニティ媒介性(2006年9月)

ID	媒介 中心性	重みなし コミュニティ 媒介性	開発者との 次数	開発者数に対する 次数の割合 (%)	ユーザとの 次数	ユーザ数に対する 次数の割合 (%)
$c_1$	0.194	0	2	2.041	242	46.360
$c_2$	0.057	0.036	34	34.694	28	5.364
$c_3$	0.050	0.079	38	38.776	55	10.536
$c_4$	0.023	0	6	6.122	37	7.088
$c_5$	0.012	0.006	19	19.388	4	0.766
$c_6$	0.009	0.009	2	2.041	9	1.724
$c_7$	0.008	0.005	20	20.408	3	0.575
$c_8$	0.007	0.007	6	6.122	4	0.766
$c_9$	0.005	0.005	7	7.143	3	0.575
$c_{10}$	0.004	0.006	21	21.429	4	0.766
$c_{11}$	0.003	0.005	5	5.102	3	0.575
$c_{12}$	0.001	0	0	0	5	0.958
$c_{13}$	$7.1 \times 10^{-4}$	0	3	3.061	1	0.192
$c_{14}$	$5.6 \times 10^{-6}$	0	0	0	4	0.766
$c_{15}$	$2.1 \times 10^{-6}$	0	3	3.061	0	0
$c_{16}$	0	0	1	1.020	1	0.192
$c_{17}$	0	0	4	4.082	0	0
$c_{18}$	0	0	0	0	0	0
$c_{19}$	0	0	2	2.041	0	0
$c_{20}$	0	0	1	1.020	36	6.897
$c_{21}$	0	0	2	2.041	0	0

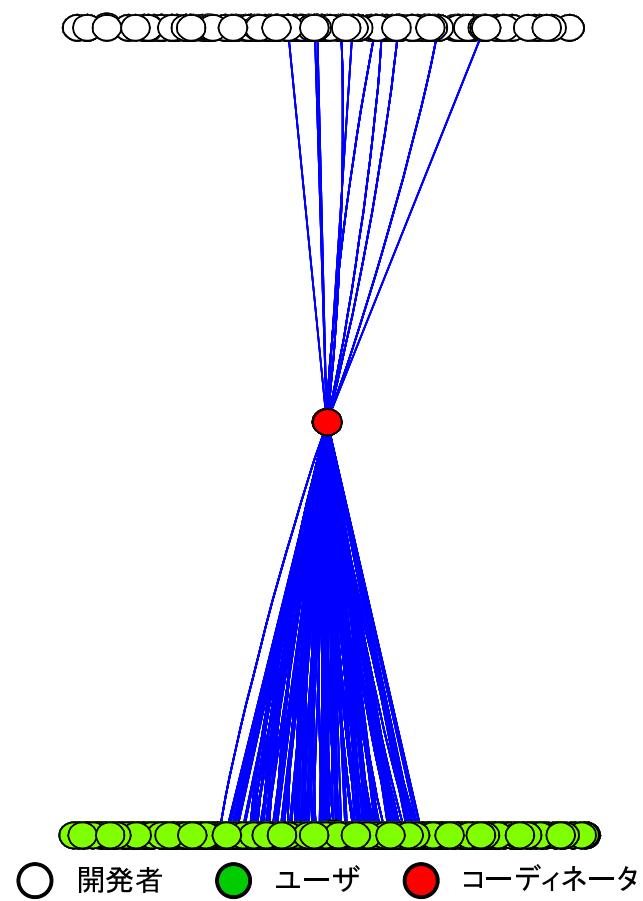


図 10  $c_1$  のコミュニケーション構造 (2006 年 2 月)

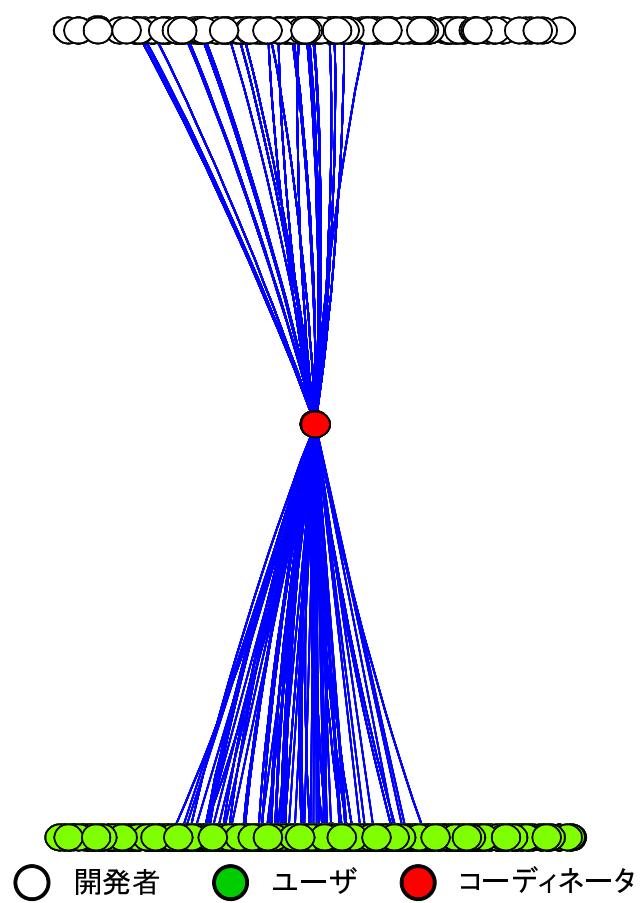


図 11  $c_2$  のコミュニケーション構造（2006 年 2 月）

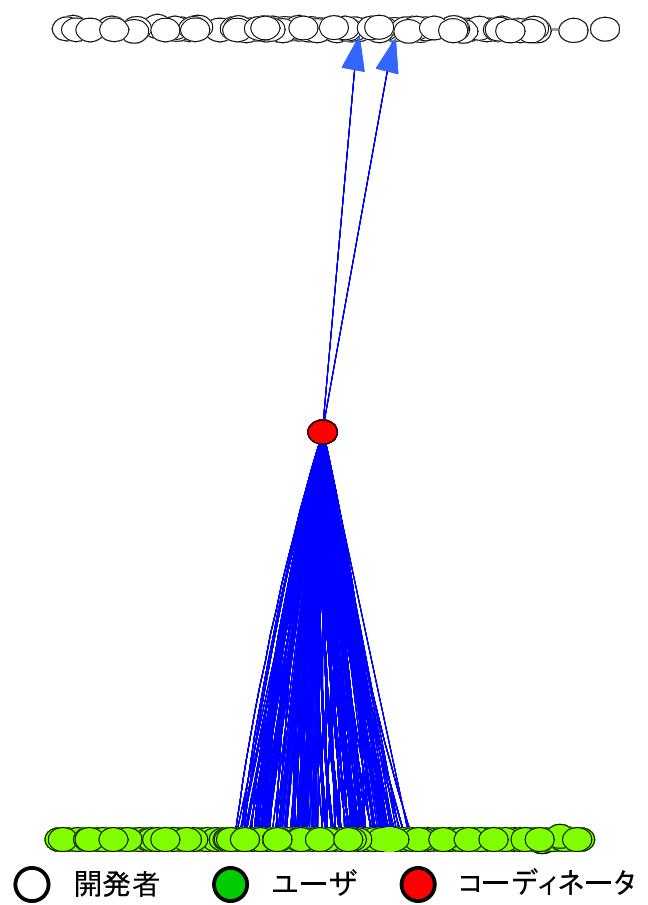


図 12  $c_1$  のコミュニケーション構造 (2006年9月)

### 5.3.2 エッジ重み付きコミュニティ媒介性に関する結果と考察

図 13 に、媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性の推移を比較した結果を示す。実線はエッジ重み付きコミュニティ媒介性の推移を表し、破線は媒介中心性の推移を表す。図中の縦線は、媒介中心性と比べてエッジ重み付きコミュニティ媒介性の平均値が最も大きい期間（2005年11月）と、最も小さい期間（2006年9月）を指す。

また、図9、14は、これらの期間における OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造を示し、表4、5は、これらの期間におけるコーディネータの媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性を比較した結果を示す。

媒介中心性と比べてエッジ重み付きコミュニティ媒介性の平均値が大きい期間

図14は、2005年11月における OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造を示す。図14の中段に位置するノードは、この期間におけるコーディネータを表す。また、表4はこの期間におけるコーディネータの媒介中心性、エッジ重み付きコミュニティ媒介性、各コミュニティとの次数、各コミュニティとのエッジ重み（メッセージの送信回数を各コミュニティの規模で正規化した値）の総和を示す。エッジ重みの値が大きいほど、媒介の頻度（コミュニケーションの頻度）が高いことを示す。

表4より、この期間においてエッジ重み付きコミュニティ媒介性の値が大きい上位3人（ $c_1 \sim c_3$ ）と、表5に示す平均値の小さい期間（2006年9月）においてエッジ重み付きコミュニティ媒介性の値が大きい上位3人（ $c_2, c_3, c_6$ ）を比較すると、この期間における  $c_1 \sim c_3$  のエッジ重み付きコミュニティ媒介性の値が大きいことがうかがえる。このことから、この期間では  $c_1 \sim c_3$  のように、エッジ重み付きコミュニティ媒介性の値が大きいコーディネータが存在することで平均値が大きくなったと考えられる。

また、エッジ重み付きコミュニティ媒介性によって、いずれのコミュニティに対しても媒介する頻度が高いコーディネータを評価できることを確認するために、例として、 $c_6, c_7$  のそれぞれのコミュニケーション構造を図15、16に示す。

それぞれのコミュニケーション構造では、メッセージの送信回数に応じてエッ

ジを太く表す。それぞれのコミュニケーション構造を比較すると、図15の $c_6$ は開発者コミュニティに対するメッセージの送信回数が多いのに対して、ユーザコミュニティに対するメッセージの送信回数に偏りがあることがわかる。また、表4より、各コミュニティとのエッジ重みの総和に着目すると、 $c_6$ は開発者コミュニティに対しておよそ0.978、ユーザコミュニティに対しておよそ0.007であることがわかる。一方、図15の $c_7$ は、各コミュニティに対するメッセージの送信回数は多くはないものの、メッセージの送信回数に偏りは少ない。また、表4より、各コミュニティとのエッジ重みの総和に着目すると、 $c_7$ は開発者コミュニティに対しておよそ0.226、ユーザコミュニティに対しておよそ0.037であることがわかる。このことから、 $c_7$ は $c_6$ と比べて各コミュニティのノード同士を相互に媒介する頻度が高いことがわかる。したがって、エッジ重み付きコミュニティ媒介性では、いずれのコミュニティに対しても媒介の頻度の高いコーディネータを評価できていることが確認できた。

媒介中心性では $c_6$ と $c_7$ に対して、エッジ重み付きコミュニティ媒介性とは異なった評価を与えていていることが見てとれる。したがって、媒介中心性では、いずれのコミュニティに対しても媒介の頻度の高いコーディネータを評価できていないことがわかる。

#### 媒介中心性と比べてエッジ重み付きコミュニティ媒介性が小さい期間

図9は、2006年9月におけるOSSコミュニティ参加者のコミュニケーション構造を表すネットワークを示す。図9の中段に位置するノードは、この期間におけるコーディネータを表す。また、表5はこの期間におけるコーディネータの媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性、各コミュニティとの次数、各コミュニティとのエッジ重みの総和を示す。

2006年9月においてエッジ重み付きコミュニティ媒介性の平均値が小さい理由については、平均値が大きい期間（2005年11月）において、それぞれの期間の上位3人（2005年11月については $c_1 \sim c_3$ 、2006年9月については $c_2, c_3, c_6$ ）を比較した際に述べた逆の理由によるためである。

また、この期間において媒介中心性が最も高い値を示す $c_1$ に着目すると、エッ

ジ重み付きコミュニティ媒介性では0の値を示していることがわかる。これは、前節の結果で述べた理由と同様である。したがって、このことが媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性の平均値に影響したといえる。

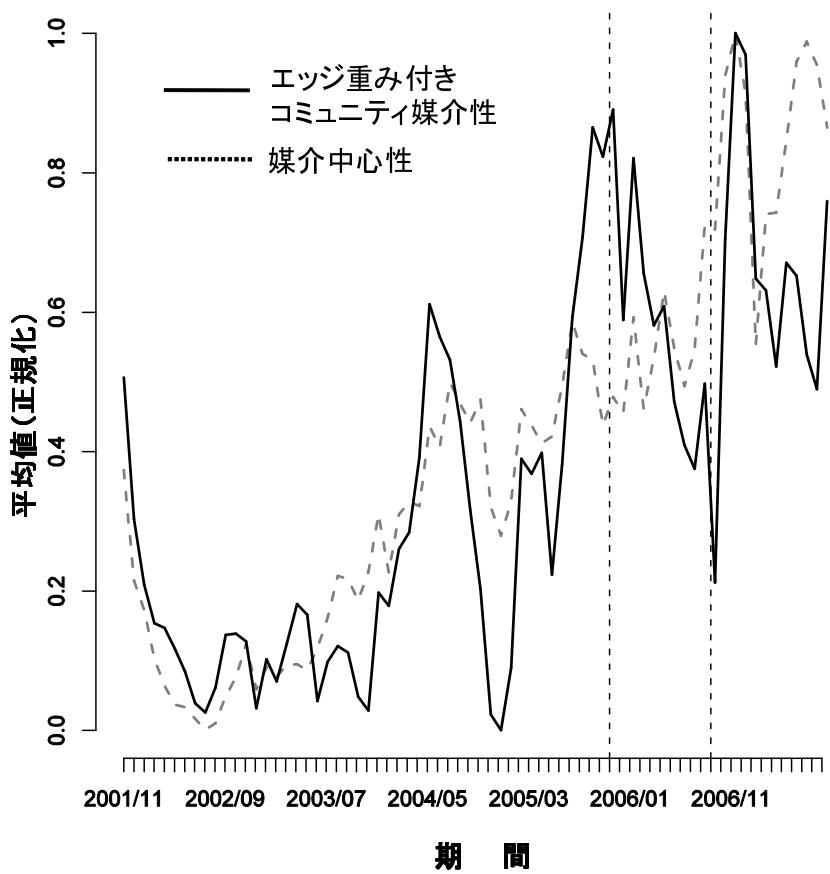


図 13 媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性の推移

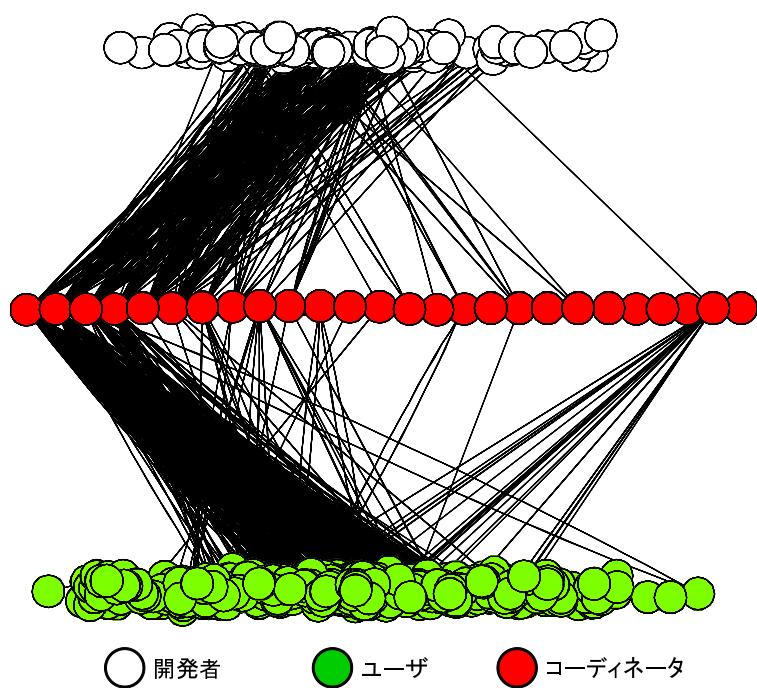


図 14 OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造（2005 年 11 月）

表 4 媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性の比較（2005年11月）

ID	媒介 中心性	エッジ重み コミュニティ 媒介性	開発者との 次数	開発者との エッジ重み の総和	ユーザとの 次数	ユーザとの エッジ重み の総和
$c_1$	0.180	0.373	39	0.723	271	0.871
$c_2$	0.046	0.110	61	0.869	58	0.131
$c_3$	0.044	0.068	70	1.540	41	0.088
$c_4$	0.023	0.065	44	0.599	33	0.080
$c_5$	0.015	0	55	0.854	1	0.002
$c_6$	0.008	0.007	43	0.978	4	0.007
$c_7$	0.005	0.031	20	0.226	12	0.037
$c_8$	0.004	0.005	14	0.212	2	0.005
$c_9$	0.003	0.015	5	0.036	11	0.027
$c_{10}$	0.001	0	12	0.117	2	0.004
$c_{11}$	0.001	0	1	0.007	4	0.009
$c_{12}$	$6.0 \times 10^{-3}$	0.015	4	0.029	8	0.032
$c_{13}$	$6.0 \times 10^{-3}$	0	3	0.022	1	0.002
$c_{14}$	$3.7 \times 10^{-4}$	0.003	2	0.015	2	0.004
$c_{15}$	$1.1 \times 10^{-4}$	0	5	0.051	1	0.002
$c_{16}$	$5.4 \times 10^{-5}$	0.003	2	0.015	2	0.004
$c_{17}$	0	0.003	2	0.015	2	0.004
$c_{18}$	0	0	6	0.095	3	0.005
$c_{19}$	0	0	0	0	0	0
$c_{20}$	0	0	4	0.044	1	0.004
$c_{21}$	0	0	1	0.007	1	0.002
$c_{22}$	0	0	1	0.007	2	0.004
$c_{23}$	0	0	0	0	0	0
$c_{24}$	0	0	0	0	0	0
$c_{25}$	0	0	1	0.007	24	0.067
$c_{26}$	0	0	0	0	1	0.002

表 5 媒介中心性とエッジ重み付きコミュニティ媒介性の比較（2006年9月）

ID	媒介 中心性	エッジ重み コミュニティ 媒介性	開発者との 次数	開発者との エッジ重み の総和	ユーザとの 次数	ユーザとの エッジ重み の総和
$c_1$	0.194	0	2	0.020	242	0.464
$c_2$	0.057	0.038	34	0.490	28	0.054
$c_3$	0.050	0.108	38	0.673	55	0.105
$c_4$	0.023	0	6	0.092	37	0.071
$c_5$	0.012	0.006	19	0.347	4	0.008
$c_6$	0.009	0.010	2	0.020	9	0.017
$c_7$	0.008	0.009	20	0.520	3	0.006
$c_8$	0.007	0.008	6	0.082	4	0.008
$c_9$	0.005	0.005	7	0.163	3	0.006
$c_{10}$	0.004	0.006	21	0.551	4	0.008
$c_{11}$	0.003	0.005	5	0.082	3	0.006
$c_{12}$	0.001	0	0	0	5	0.010
$c_{13}$	$7.1 \times 10^{-4}$	0	3	0.051	1	0.002
$c_{14}$	$5.6 \times 10^{-6}$	0	0	0	4	0.008
$c_{15}$	$2.1 \times 10^{-6}$	0	3	0.041	0	0
$c_{16}$	0	0	1	0.010	1	0.002
$c_{17}$	0	0	4	0.041	0	0
$c_{18}$	0	0	0	0	0	0
$c_{19}$	0	0	2	0.031	0	0
$c_{20}$	0	0	1	0.010	36	0.069
$c_{21}$	0	0	2	0.020	0	0

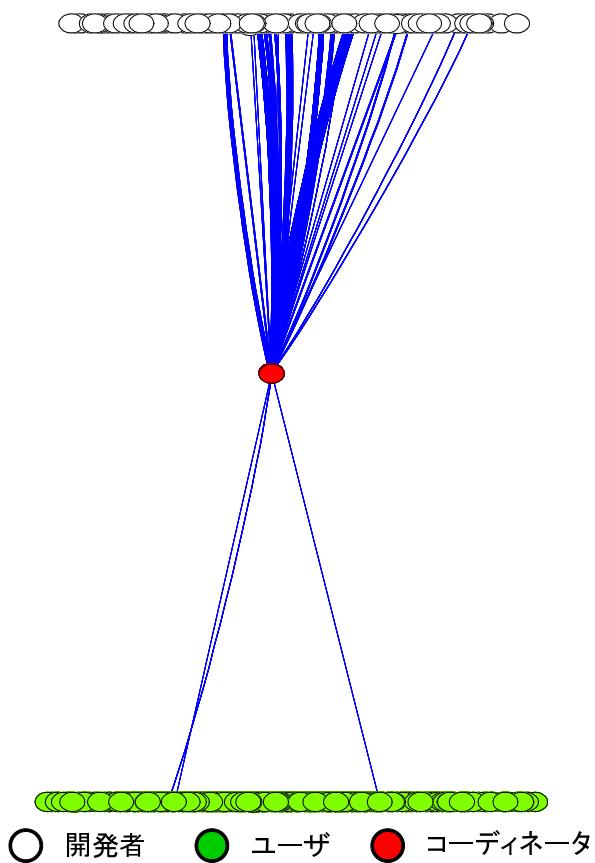


図 15  $c_6$  のコミュニケーション構造 (2005 年 11 月)

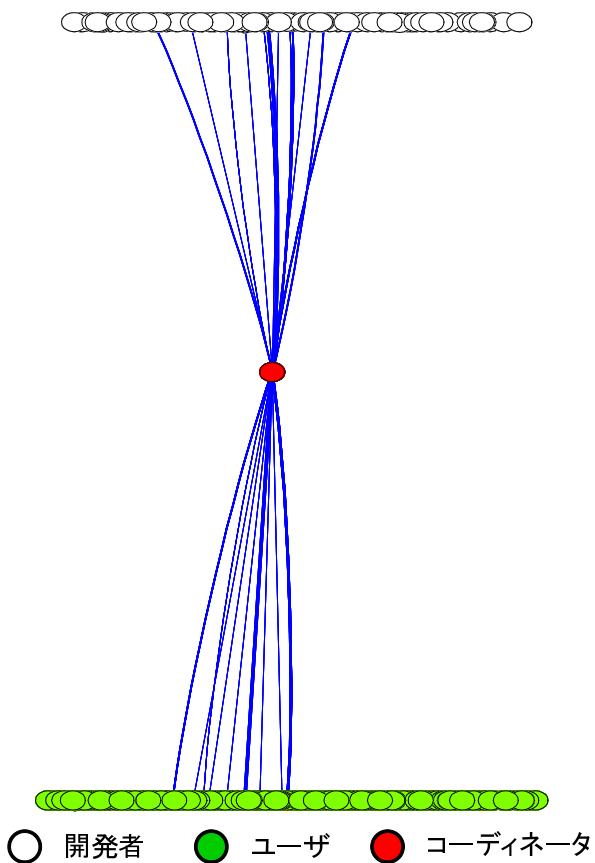


図 16  $c_7$  のコミュニケーション構造 (2005 年 11 月)

### 5.3.3 ノード重み付きコミュニティ媒介性に関する結果と考察

図 17 は、媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性の推移を比較した結果を示す。実線はノード重み付きコミュニティ媒介性の推移を表し、破線は媒介中心性の推移を表す。図中の縦線は、媒介中心性と比べてノード重み付きコミュニティ媒介性の平均値が最も大きい期間（2005年10月）と、最も小さい期間（2006年9月）を指す。

また、図 18 はこれらの期間における OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造を示し、表 6, 7 は、これらの期間におけるコーディネータの媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性を比較した結果を示す。

媒介中心性と比べてノード重み付きコミュニティ媒介性の平均値が大きい期間

図 18 は、2005年10月における OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造を示す。図 18 の中段に位置するノードは、この期間におけるコーディネータを表す。また、表 6 はこの期間におけるコーディネータの媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性、各コミュニティとの次数、各コミュニティに対するノード重みの総和を示す。また、ノードの重みとは、各ノードの次数を各コミュニティの規模で正規化した値を指す。ノード重みの値が大きいほど、コミュニティ内で中心的な立場にあることを示す。

表 6 より、この期間においてノード重み付きコミュニティ媒介性の値が大きい上位 3 人 ( $c_1, c_2, c_5$ ) と、表 5 に示す平均値の小さい期間（2006年9月）においてノード重み付きコミュニティ媒介性の値が大きい上位 3 人 ( $c_2, c_3, c_{11}$ ) を比較すると、この期間における  $c_1, c_2, c_5$  のノード重み付きコミュニティ媒介性の値が大きいことがうかがえる。このことから、この期間では  $c_1, c_2, c_5$  のように、ノード重み付きコミュニティ媒介性の値が大きいコーディネータが存在することで平均値が大きくなったと考えられる。

また、ノード重み付きコミュニティ媒介性によって、それぞれのコミュニティにおいて中心的な立場にあるノード同士を媒介するコーディネータを評価できることを確認するために、例として、 $c_6, c_7$  のそれぞれのコミュニケーション構造を図 19, 20 に示す。それぞれのコミュニケーション構造では、ノードの次数に応

じてノードを大きく示す。また、 $c_7$ ,  $c_8$ とつながるノードを各コミュニティに属するノードとコーディネータとの間に配置する。

図19, 20を比較すると、 $c_7$ と $c_8$ とでは、開発者コミュニティに対する次数に違いはあるものの、いずれも次数の大きいノードとつながっていることが見てとれる。また、表6より、各コミュニティに対するノード重みの総和に着目すると、 $c_7$ は、開発者コミュニティに対してはおよそ4.575、ユーザコミュニティに対してはおよそ0.024であることがわかる。

一方、図19の $c_8$ は、 $c_7$ と比べてユーザコミュニティ内の次数の大きいノードとつながっていることがわかる。また、表6より、各コミュニティに対するノード重みの総和に着目すると、 $c_8$ は、開発者コミュニティに対してはおよそ2.67、ユーザコミュニティに対してはおよそ0.718であることがわかる。このことから、 $c_8$ は $c_7$ と比べて各コミュニティにおいて中心的な立場にあるノード同士を媒介していることがわかる。したがって、ノード重み付きコミュニティ媒介性では、各コミュニティにおいて中心的な立場にあるノード同士を媒介するコーディネータを評価できていることが確認できた。

媒介中心性では $c_7$ と $c_8$ の評価にそれほど違いは見られないのに対して、ノード重み付きコミュニティ媒介性では各コミュニティにおいて中心的な立場にあるノード同士を媒介するコーディネータを評価できていることがわかる。

#### 媒介中心性と比べてノード重み付きコミュニティ媒介性が小さい期間

図9は、2006年9月におけるOSSコミュニティ参加者のコミュニケーション構造を表すネットワークを示す。図7の中段に位置するノードは、この期間におけるコーディネータを表す。また、表7はこの期間におけるコーディネータの媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性、コーディネータとつながる各コミュニティのノード数ならびにノード重みの総和を示す。

2006年9月においてノード重み付きコミュニティ媒介性の平均値が小さい理由については、平均値が大きい期間（2005年10月）において、それぞれの期間の上位3人（2005年10月については $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_5$ , 2006年9月については $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_6$ ）を比較した際に述べた逆の理由によるためである。

また，この期間において媒介中心性が最も高い値を示す  $c_1$  に着目すると，ノード重み付きコミュニティ媒介性では 0 の値を示していることがわかる．これは，前々節の結果で述べた理由と同様である．したがって，このことが媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性の平均値に影響したといえる．

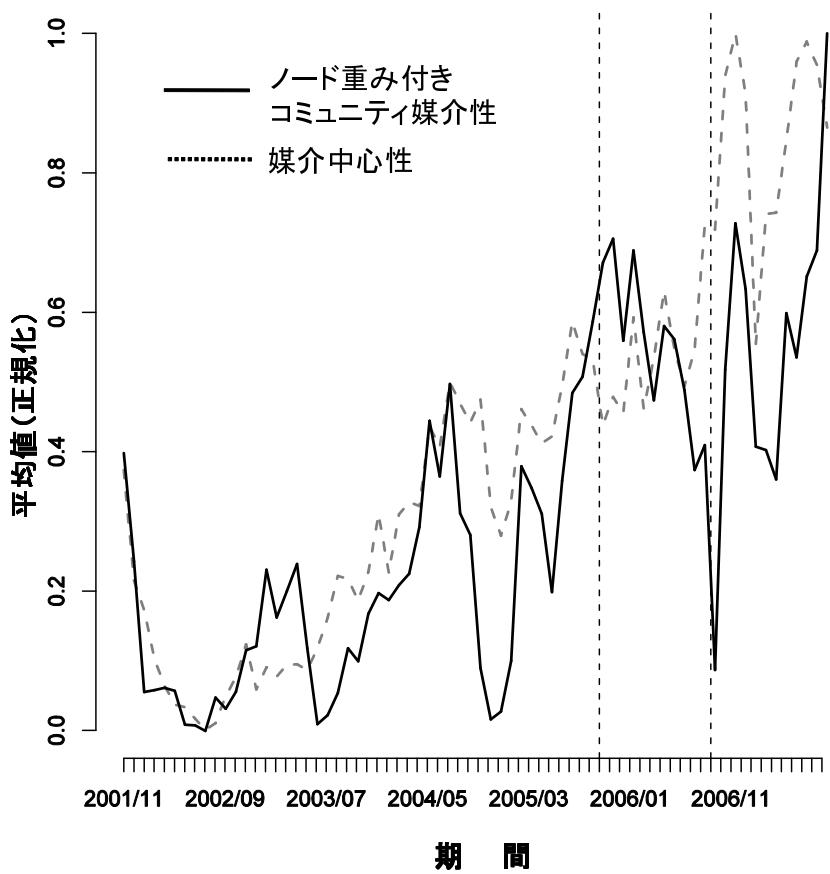


図 17 媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性の推移

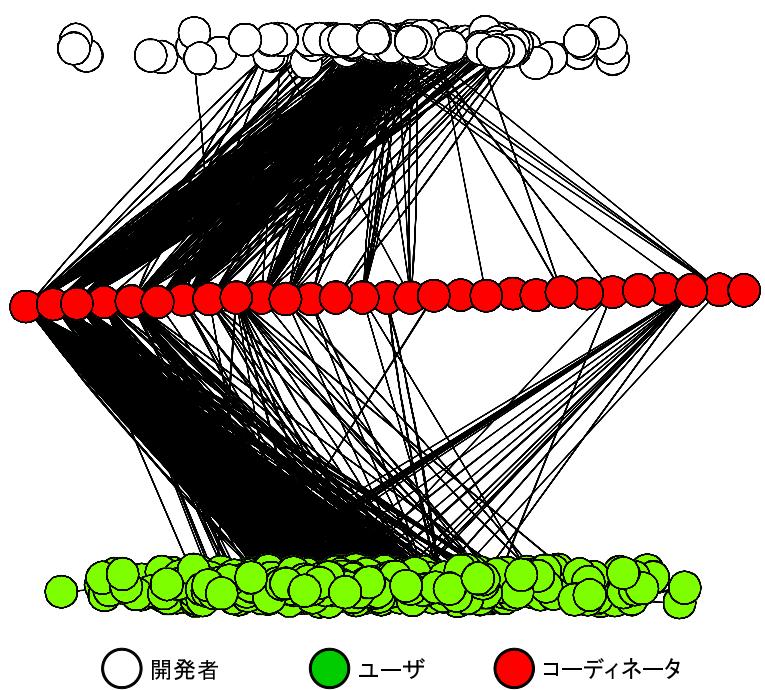


図 18 OSS コミュニティ参加者のコミュニケーション構造（2005年10月）

表 6 媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性の比較（2005年10月）

ID	媒介 中心性	ノード重み コミュニティ 媒介性	開発者 (ノード数)	開発者 (ノード重み)	ユーザ (ノード数)	ユーザ (ノード重み)
$c_1$	0.180	0.851	38	4.320	276	1.070
$c_2$	0.044	0.817	64	5.177	61	0.971
$c_3$	0.042	0.368	83	5.677	42	0.577
$c_4$	0.019	0	1	0.163	39	0.818
$c_5$	0.016	0.271	42	3.980	29	0.513
$c_6$	0.012	0	56	4.881	1	0.008
$c_7$	0.007	0.024	45	4.575	5	0.024
$c_8$	0.006	0.565	20	2.670	14	0.718
$c_9$	0.004	0.077	6	0.901	12	0.088
$c_{10}$	0.004	0	38	4.051	2	0.004
$c_{11}$	0.004	0.009	18	2.245	3	0.011
$c_{12}$	0.002	0.004	7	1.163	2	0.004
$c_{13}$	0.001	0.049	2	0.054	2	0.493
$c_{14}$	0.001	0.074	10	0.969	4	0.080
$c_{15}$	0.001	0	1	0.143	4	0.020
$c_{16}$	0.001	0	7	0.935	0	0
$c_{17}$	0.001	0.377	4	0.850	8	0.679
$c_{18}$	0.001	0	1	0.190	5	0.604
$c_{19}$	0.000	0	5	0.486	1	0.246
$c_{20}$	0	0	0	0	2	0.248
$c_{21}$	0	0	1	0.282	1	0.038
$c_{22}$	0	0	4	0.452	1	0.246
$c_{23}$	0	0	0	0	0	0
$c_{24}$	0	0	1	0.180	2	0.029
$c_{25}$	0	0	0	0	2	0.493
$c_{26}$	0	0	0	0	0	0
$c_{27}$	0	0	1	0.044	27	0.414
$c_{28}$	0	0	6	0.874	2	0.058
$c_{29}$	0	0	1	0.282	0	0

表 7 媒介中心性とノード重み付きコミュニティ媒介性の比較（2006年9月）

ID	媒介 中心性	ノード重み コミュニティ 媒介性	開発者 (ノード数)	開発者 (ノード重み)	ユーザ (ノード数)	ユーザ (ノード重み)
$c_1$	0.194	0	2	0.362	242	0.913
$c_2$	0.057	0.192	34	2.724	28	0.369
$c_3$	0.050	0.216	38	2.760	55	0.252
$c_4$	0.023	0	6	0.684	37	0.367
$c_5$	0.012	0.011	19	1.878	4	0.238
$c_6$	0.009	0.016	2	0.051	9	0.026
$c_7$	0.008	0.024	20	1.995	3	0.025
$c_8$	0.007	0.051	6	0.469	4	0.253
$c_9$	0.005	0.008	7	0.612	3	0.009
$c_{10}$	0.004	0.006	21	2.316	4	0.011
$c_{11}$	0.003	0.078	5	0.372	3	0.295
$c_{12}$	0.001	0	0	0	5	0.479
$c_{13}$	0.001	0	3	0.276	1	0.001
$c_{14}$	0.000	0	0	0	4	0.012
$c_{15}$	0.000	0	3	0.138	0	0
$c_{16}$	0	0	1	0.005	1	0.027
$c_{17}$	0	0	4	0.622	0	0
$c_{18}$	0	0	0	0	0	0
$c_{19}$	0	0	2	0.199	0	0
$c_{20}$	0	0	1	0.194	36	0.423
$c_{21}$	0	0	2	0.347	0	0

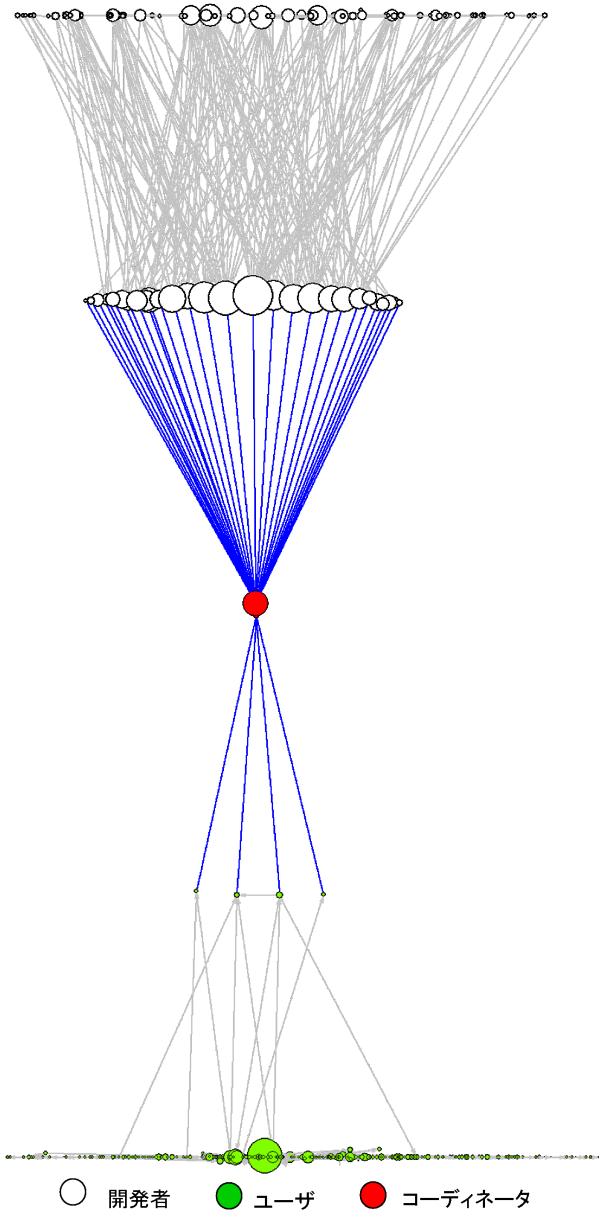


図 19  $c_7$  のコミュニケーション構造 (2005 年 10 月)

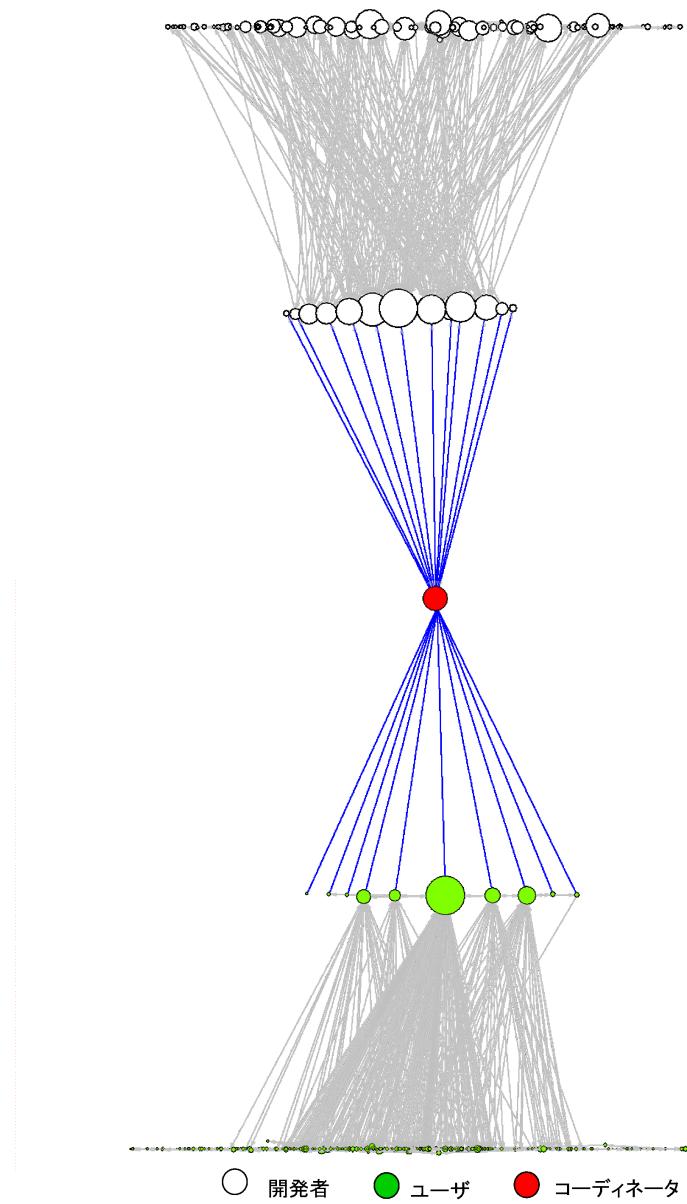


図 20  $c_8$  のコミュニケーション構造 (2005 年 10 月)

## 6. 考察

本章では、ケーススタディの結果をもとに提案指標の有用性について考察する。次に、提案指標の利用方法について述べ、最後に提案指標の拡張に関する今後の方向性について言及する。

### 6.1 提案指標の長所

表8は、2006年9月におけるコーディネータの媒介中心性と提案指標を比較した結果を示す。表8より、提案指標の値に着目すると、たとえば、 $c_{11}$ は重みなしコミュニティ媒介性は21人中7番目に大きい値であるのに対して、ノード重み付きコミュニティ媒介性の値は21人中3番目に大きい値を示しており、指標によって評価が異なることが確認できる。

例として、 $c_{11}$ のコミュニケーション構造を図21に示す。 $c_{11}$ のコミュニケーション構造に着目すると、各コミュニティとの次数やメッセージの送信回数と比べて、次数の大きなノードとつながっている特徴が見てとれる。一方、各指標値に着目すると、重みなしコミュニティ媒介性やエッジ重み付きコミュニティ媒介性の値と比べて、ノード重み付きコミュニティ媒介性の値は大きく評価されていることがわかる。このことから、提案指標ではそれぞれの指標が着目する観点（各コミュニティとの次数、メッセージの送信回数、コーディネータとつながる各ノードの次数）から、コーディネータの媒介度合いが評価できているといえる。

したがって、提案指標では、コーディネータがコミュニティ間を媒介する構造的特徴を各指標値によって相補的に捉えることができるため、コーディネータの詳細な分析が行えるのではないかと考える。

表 8 媒介中心性と 3 つのコミュニティ媒介性の比較

ID	媒介中心性	重みなし	エッジ重み付き	ノード重み付き
		媒介性	媒介性	媒介性
$c_1$	0.194	0	0	0
$c_2$	0.057	0.036	0.038	0.192
$c_3$	0.050	0.079	0.108	0.216
$c_4$	0.023	0	0	0
$c_5$	0.012	0.006	0.006	0.011
$c_6$	0.009	0.009	0.010	0.016
$c_7$	0.008	0.005	0.009	0.024
$c_8$	0.007	0.007	0.008	0.051
$c_9$	0.005	0.005	0.005	0.008
$c_{10}$	0.004	0.006	0.006	0.006
$c_{11}$	0.003	0.005	0.005	0.078
$c_{12}$	0.001	0	0	0
$c_{13}$	$7.1 \times 10^{-4}$	0	0	0
$c_{14}$	$5.6 \times 10^{-6}$	0	0	0
$c_{15}$	$2.1 \times 10^{-6}$	0	0	0
$c_{16}$	0	0	0	0
$c_{17}$	0	0	0	0
$c_{18}$	0	0	0	0
$c_{19}$	0	0	0	0
$c_{20}$	0	0	0	0
$c_{21}$	0	0	0	0

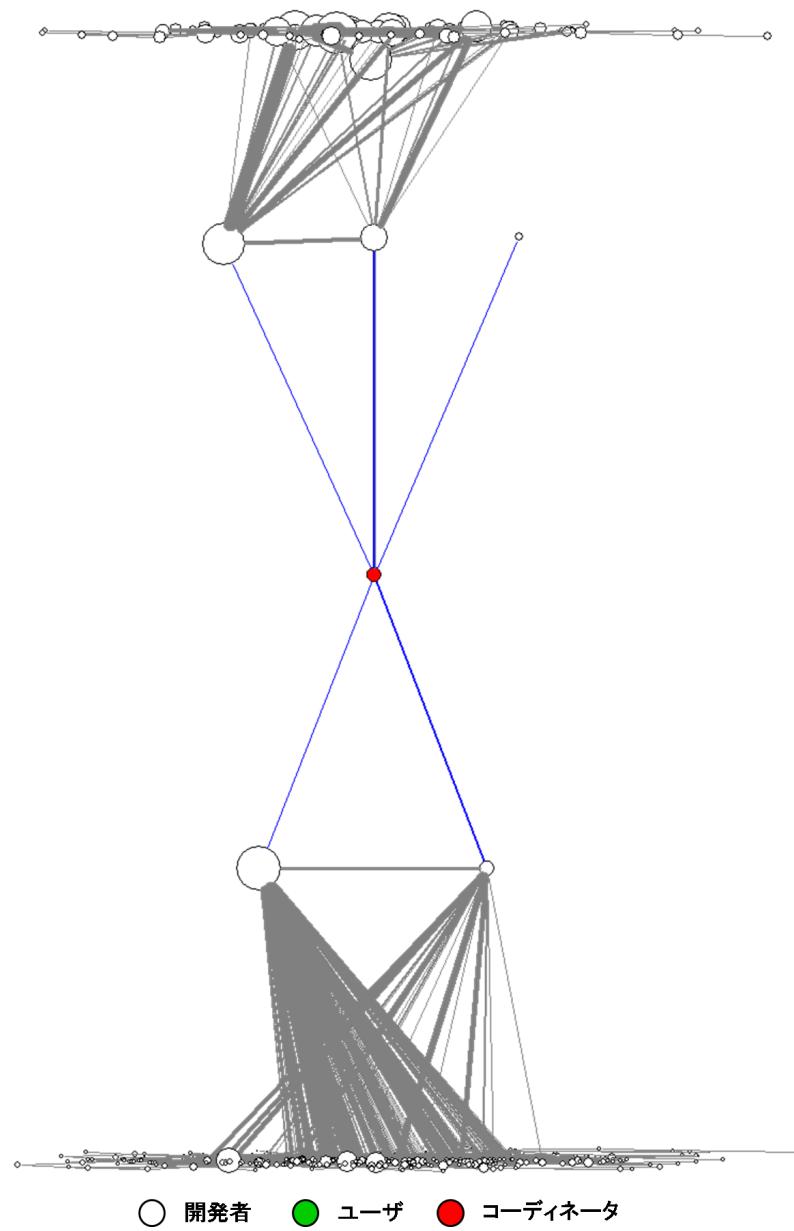


図 21  $c_{11}$  のコミュニケーション構造 (2006年9月)

## 6.2 提案指標の利用方法

先行研究では、OSS開発において開発者とユーザの協調作業を支えるコーディネータの存在が重要であることが指摘されている。しかしながら、コーディネータがどのように協調作業を支えているのかについては明らかにされていない。そこで、本論文の提案指標を成功 OSS コミュニティと衰退 OSS コミュニティそれぞれに適用することで、コーディネータがコミュニティ間を媒介する構造的特徴にどのような違いがあるかをより具体的に分析できるようになる。

たとえば、開発者とユーザの協調作業において、特定の開発者とユーザとの間で頻繁にコミュニケーションを行う（重みなしこミュニティ媒介性が小さく、かつエッジ重み付きコミュニティ媒介性の値が大きい）コーディネータの存在が重要であるのか、また、コミュニティ内で消極的な参加者（新規参入者や他者との交流が少ない参加者など）と多く関係を築く（重みなしこミュニティ媒介性の値が大きく、かつノード重み付きコミュニティ媒介性の値が小さい）コーディネータの存在が重要であるのかなどが、提案指標を用いることで明らかになると期待できる。

また、ケーススタディではコーディネータがコミュニティ間を相互に媒介する度合いを評価しているが、提案指標では一方向の媒介（開発者からユーザへの媒介、またはユーザから開発者への媒介）を評価することが可能である。そのため、たとえば、開発者からユーザへの媒介の度合いをユーザサポートの度合いとして捉え、ユーザから開発者への媒介の度合いをユーザからのフィードバック（バグ報告や機能追加）の度合いとして捉えることで、ユーザサポートの充実度またはフィードバックの充実度を表す指標として、OSS導入の有用な判断材料となると考えている。

## 6.3 提案指標の拡張

提案指標ではコーディネータが他のコーディネータを媒介するようなケースについて十分に考慮されていない。図 22 を例に挙げ、提案指標の拡張について説明する。

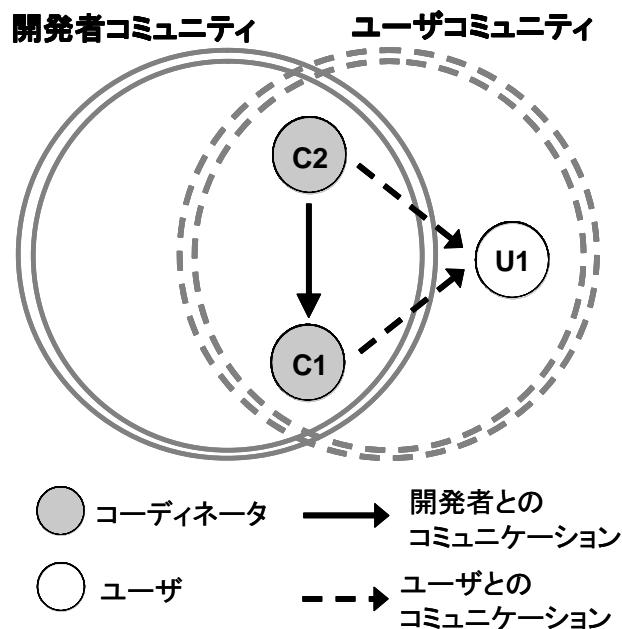


図 22 コーディネータ間の媒介

図 22 では、 $C_1$ ,  $C_2$  はコーディネータを、 $U_1$  はユーザを表す。 $C_1$  の媒介度合いを求める場合、コーディネータである  $C_2$  は開発者コミュニティとユーザコミュニティの双方に属する。そのため、図 22 に示すように、 $C_2$  は  $C_1$  を介して  $U_1$  とつながるだけなく、ユーザコミュニティ内で  $U_1$  とつながることが考えられる。このようなケースは、コーディネータの総数が多いほど起こりうる可能性が高い。しかしながら、 $C_1$  が  $C_2$  と  $U_1$  の協調作業に関与する可能性があるため、媒介度合いを評価する上でコーディネータ間の媒介を考慮した新たな指標を構築する必要があると考えている。

## 7. おわりに

本論文では、OSS コミュニティにおいて開発者コミュニティとユーザコミュニティに属するコーディネータが異なるコミュニティに属するノード同士を媒介する度合いを評価するために、3つのコミュニティ媒介性指標を提案した。また、提案指標によってコーディネータの媒介の度合いを評価できることを確認するためには、ケーススタディを行った。ケーススタディでは、Apache コミュニティの開発者コミュニティとユーザコミュニティを対象とし、従来指標である媒介中心性と3つの提案指標をそれぞれ比較した。ケーススタディによって得られた結果は下記のとおりである。

- 重みなしコミュニティ媒介性

重みなしコミュニティ媒介性は、コーディネータの各コミュニティに対する次数をもとに、それらの調和平均によって媒介の度合いを評価する。重みなし媒介性では、各コミュニティの多くのノード同士を媒介するコーディネータを評価できた。

- エッジ重み付きコミュニティ媒介性

エッジ重み付きコミュニティ媒介性は、コーディネータの各コミュニティに対するメッセージの送信回数をもとに、それらの調和平均によって媒介の度合いを評価する。エッジ重み付きコミュニティ媒介性では、いずれのコミュニティのノードに対しても媒介の頻度の高いコーディネータを評価できた。

- ノード重み付きコミュニティ媒介性

ノード重み付きコミュニティ媒介性は、コーディネータとつながる各コミュニティ内のノードの次数をもとに、それらの調和平均によって媒介の度合いを評価する。ノード重み付きコミュニティ媒介性では、各コミュニティにおいても中心的なノード同士を媒介するコーディネータを評価できた。

なお、本論文では Apache コミュニティを対象としたケーススタディにおいて、媒介中心性と比べて提案指標の平均値の差が大きい時期しか確認を行っていない

点に注意する必要がある。結果の信頼性を向上させるために、他の期間、または他の OSS コミュニティにおいても確認を行うことが今後の課題となる。

## 謝辞

本研究を進めるに当たり多くの方々に，御指導，御協力，御支援戴きました。ここに感謝の意を表せて頂きたいと思います。本当にありがとうございました。

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 松本 健一 教授には，本研究の全過程において熱心な御指導を賜りました。研究発表に関して多くの御指導を賜るとともに，研究者としての心構えや，研究に対する姿勢など数多くの御指導を賜りました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 関 浩之 教授には，本研究を進めるに当たり，貴重なご指導を賜りました。学内の発表において多数のご質問とご指導を頂きました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 飯田 元 教授には，本研究を進めるに当たり，貴重なご指導を賜りました。また，本研究に対する直接的な御指導のみならず，研究者としての考え方も御指導頂きました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 門田 暁人 准教授には，本研究を進めるに当たり，貴重なご指導を賜りました。また，本研究の課題や方針など的確な御助言，御指摘を賜りました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 大平 雅雄 助教には，私の研究生活の全過程において熱心な御支援を賜りました。研究の基礎から，資料作成，プレゼンテーションの技術，論文執筆，全てに渡り，熱意ある強力な御助力を賜りました。先生からは研究に対する姿勢，研究の楽しさ，難しさ，色々なことを学ぶことができました。私の研究は，先生の御協力がなければ成し得ませんでした。心より厚く御礼申し上げます。

神戸大学 大学院工学研究科 中村 匡秀准教授には，研究論文の書き方や研究会などの発表の作法など，研究者に必要な素養の習得について御指導を賜りました。心より厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学 ソフトウェア工学講座 柿元 健 氏には，本研究を進めるにあたり，広範囲かつ多大な御助力を賜りました。深く感謝いたします。

奈良先端科学技術大学院大学 ソフトウェア工学講座 亀井 靖高 氏には，日々の

研究活動，特に論文執筆の面において多大な御助力を賜りました。深く感謝いたします。

奈良先端科学技術大学院大学 ソフトウェア工学講座 大西 洋司 氏には，研究生活においても研究以外の場においても様々な相談に乗っていただき，多くのアドバイスを頂きました。深く感謝いたします。

奈良先端科学技術大学院大学 ソフトウェア工学講座 梶本 真佑 氏には，研究について冷静な鋭い御指摘を頂くとともに，システムの実装の面において大変な御助力を賜りました。深く感謝いたします。

奈良先端科学技術大学院大学 ソフトウェア工学講座 伊原 彰紀 氏には，本研究を進めるにあたりシステムの実装の面において大変な御助力を賜りました。深く感謝いたします。

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 ソフトウェア工学講座の皆様には，日頃より多大な御協力と御助言を賜りました。研究発表の準備や研究の過程で賜った御助力，励ましの言葉により，私は研究を完遂することができました。心より厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Christian Bird, Alex Gourley, Prem Devanbu, Michael Gertz, and Anand Swaminathan. Mining Email Social Networks. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Mining Software Repositories (MSR'06)*, pages 137–143, 2006.
- [2] Christian Bird, Alex Gourley, Prem Devanbu, Anand Swaminathan, and Greta Hsu. Open Borders Immigration in Open Source Projects. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Mining Software Repositories (MSR'07)*, page 6, 2007.
- [3] Philip Bonacich and William G. Roy. Centrality, dominance, and interorganizational power in a network structure. *Journal of Mathematical Sociology*, 12:127–135, 1985.
- [4] Phillip Bonacich. Power and centrality: A family of measures. *American Journal of Sociology*, 92:1170–1182, 1987.
- [5] Kevin Crowston and James Howison. The social structure of free and open source software development. *First Monday*, 10(2), 2005.
- [6] Paul A. David, Andrew Waterman, and Seema Arora. Floss-us: The free/libre/open source software survey for 2003. available from <<http://www.stanford.edu/group/floss-us/>>, accessed 2008-02-07.
- [7] Katherine Faust. Centrality in affiliation networks. *Social Networks*, 19:157–191, 1997.
- [8] Katherine Faust and Stanley Wasserman. Centrality and prestige: A review and synthesis. *Journal of Quantitative Anthropology*, 4:23–78, 1992.
- [9] Joseph Feller and Brian Fitzgerald. *Understanding Open Source Software Development*. Addison-Wesley, 2002.

- [10] Linton C. Freeman. Centrality in social networks: Conceptual clarification. *Social Networks*, 1(3):215–239, 1979.
- [11] Daniel German and Audris Mockus. Automating the measurement of open source projects. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Open Source Software Engineering*, pages 63–67, 2003.
- [12] Pamela Hinds and Cathleen McGrath. Structures that work: social structure, work structure and coordination ease in geographically distributed teams. In *Proceedings of the 20th Conference on Computer supported cooperative work (CSCW'06)*, pages 343–352, 2006.
- [13] Liaquat Hossain, Andre Wu, and Kenneth K S Chung. Actor centrality correlates to project based coordination. In *Proceedings of the 20th Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'06)*, pages 363–372, 2006.
- [14] James Howison, Keisuke Inoue, and Kevin Crowston. Social dynamics of free and open source team communications. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Open Source Systems (OSS'06)*, pages 319–330, 2006.
- [15] International Institute of Infonomics (University of Maastricht) and Berlecon Research GmbH. Free/libre and open source software: Survey and study. available from <<http://www.infonomics.nl/FLOSS/report/>>, accessed 2008-02-07.
- [16] Chris Jensen and Walt Scacchi. Role migration and advancement processes in ossd projects: A comparative case study. In *Proceedings of the 29th International Conference on Software Engineering (ICSE'07)*, pages 364–374, 2007.
- [17] Takeshi Kakimoto, Yasutaka Kamei, Masao Ohira, and Ken-ichi Matsumoto. Social network analysis on communications for knowledge collaboration in

- oss communities. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Supporting Knowledge Collaboration in Software Development (KCSD'06)*, pages 35–41, 2006.
- [18] Karim R. Lakhani and Eric von Hippel. How open source software works: “free” user-to-user assistance. *Research Policy*, 32(6):923–943, June 2003.
  - [19] J. Lave and E. Wenger. *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press, 1991.
  - [20] Shinsuke Matsumoto, Yasutaka Kamei, Hirotaka Maeshima, Masao Ohira, and Ken ichi Matsumoto. A comparison study on the coordination patterns in oss community. In *The 1st International Workshop on Socio-Technical Congruence (STC 2008)*, page (to appear), 2008.
  - [21] Audris Mockus, Roy T. Fielding, and James D. Herbsleb. Two Case Studies of Open Source Software Development: Apache and Mozilla. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 11(3):309–346, 2002.
  - [22] Kumiyo Nakakoji, Yasuhiro Yamamoto, Yoshiyuki Nishinaka, Kouichi Kishida, and Yunwen Ye. Evolution patterns of open-source software systems and communities. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Principles of Software Evolution (IWPSE'02)*, pages 76–85, 2002.
  - [23] Masao Ohira, Tetsuya Ohoka, Takeshi Kakimoto, Naoki Ohsugi, and Ken-ichi Matsumoto. Supporting knowledge collaboration using social networks in a large-scale online community of software development projects. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Supporting Knowledge Collaboration in Software Development (KCSD'05)*, pages 835–840, 2005.
  - [24] Masao Ohira, Naoki Ohsugi, Tetsuya Ohoka, and Ken-ichi Matsumoto. Accelerating cross-project knowledge collaboration using collaborative filtering and social networks. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Mining Software Repositories (MSR'05)*, pages 111–115, 2005.

- [25] Eric S. Raymond. *The Cathedral and the Bazaar: Musings on Linux and Open Source by an Accidental Revolutionary*. O'Reilly and Associates, 1999.
- [26] John Scott. *Social Network Analysis: A Handbook*. SAGE Publications, 2000.
- [27] Stanley Wasserman and Katherine Faust. *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge University Press, 1994.
- [28] Yutaka Yamauchi, Makoto Yokozawa, Takeshi Shinohara, and Toru Ishida. Collaboration with lean media: How open-source software succeeds. In *Proceedings of the 17th Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'00)*, pages 329–338, 2000.
- [29] Yunwen Ye and Kouichi Kishida. Toward an understanding of the motivation of open source software developers. In *Proceedings of the 25th International Conference on Software Engineering (ICSE'03)*, pages 419–429, 2003.
- [30] Liguo Yu and Srinivas Ramaswamy. Mining cvs repositories to understand open-source project developer roles. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Mining Software Repositories (MSR'07)*, page 8, 2007.
- [31] 大平 雅雄, 桐本 真佑, 前島 弘敬, 亀井 靖高, and 松本 健一. OSS コミュニティにおける共同作業プロセス理解のための中心性分析. In 情報処理学会シンポジウムシリーズ, number 2007 in 11, pages 7–12. 情報処理学会グループウェアとネットワークサービス研究会, 情報処理学会, November 2007.
- [32] 株式会社 三菱総合研究所. Floss-jp オープンソース/フリーソフトウェア開発者オンライン調査日本版. 入手先 <<http://oss.mri.co.jp/floss-jp/>>, 参照 2008-02-07.
- [33] 独立行政法人 情報処理推進機構. オープンソース情報データベース OSSi-Pedia. 入手先 <<http://ossipedia.ipa.go.jp/>>, 参照 2008-02-07.

- [34] 独立行政法人 情報処理推進機構. 我が国の OSS 活用 IT ソリューション市場の現状と将来展望に関する調査. 入手先 (<http://www.ipa.go.jp/software/open/osscc/download/Survey.pdf>), 参照 2008-02-07.
- [35] 松尾 豊, 篠田 考祐, and 中島 秀之. 中心性に着目した合理エージェントのネットワーク形成. 人工知能学会論文誌, 21(1):122–132, 2006.