

平成 30 年 4 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26280022

研究課題名(和文) 多様なダイナミクスを有する環境で持続・成長可能な自律適応的分散システムの研究

研究課題名(英文) Research on sustainable and adaptive distributed systems in environments with diverse dynamics

研究代表者

増澤 利光 (Toshimitsu, Masuzawa)

大阪大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：50199692

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：次世代ユビキタスネットワーク環境に構築される超大規模次世代分散システムの持続・成長可能性を保証するには、多様なダイナミクスに対して分散システムがエネルギー効率よく自律的に適応して安定動作することが必要である。本研究では、多様なダイナミクスの時間・空間的特性に応じて適切な適応的安定性を自律的に選択し、エネルギー効率よく実現する自律適応的分散アルゴリズムに関する研究に取り組んだ。異なる適応的安定性の共生可能性について検討し、ダイナミクスの時間・空間的特性の推定に基づき、適切な適応的安定性を選択して実現する方法を示した。また、エネルギー効率に優れた実現法について検討した。

研究成果の概要(英文)：In order to guarantee sustainability and growth of huge-scale distributed systems developed on the next-generation ubiquitous network environments, it is necessary to ensure that the distributed systems can autonomously and efficiently adapt to various kinds of dynamics and attain stability. In this research, we investigated autonomous and adaptive distributed algorithms that can select and realize appropriate adaptive stability according to time and spatial characteristics of the dynamics. We examined the possibility of coexistence of different adaptive stability and proposed the method to select and realize appropriate adaptive stability based on the estimation of the temporal and spatial characteristics of dynamics. We also examined the energy-efficient methods.

研究分野：分散アルゴリズム

キーワード：アルゴリズム 分散アルゴリズム 分散システム 自律適応性 エネルギー効率 自己安定性 モバイル・エージェント 個体群プロトコル

### 1. 研究開始当初の背景

多種多様な機器から構成される情報通信基盤の社会の隅々への浸透、および、新世代ネットワークや次世代ワイヤレス通信の研究開発による高速・大容量ネットワーク環境の整備により、「いつでも、どこでも、だれでも、安心して安全・快適に情報通信基盤を利用できる高度なユビキタス情報社会」の実現が期待されていた。ユビキタス情報社会を支えるためには、持続可能で成長可能な次世代分散システムを実現することが必要であり、その基盤となる分散アルゴリズムに関する、次の2つの課題が重要であった。

- ・多様なダイナミクスに対する自律適応性を有する分散アルゴリズムの設計法の確立
- ・エネルギー効率にすぐれた分散アルゴリズムの設計法の確立

しかし、この二つの課題を同時に解決するための取り組みはほとんど行われておらず、次世代分散システムの基盤技術を確立するために、この二つの課題の同時解決を目指して本研究に取り組んだ。

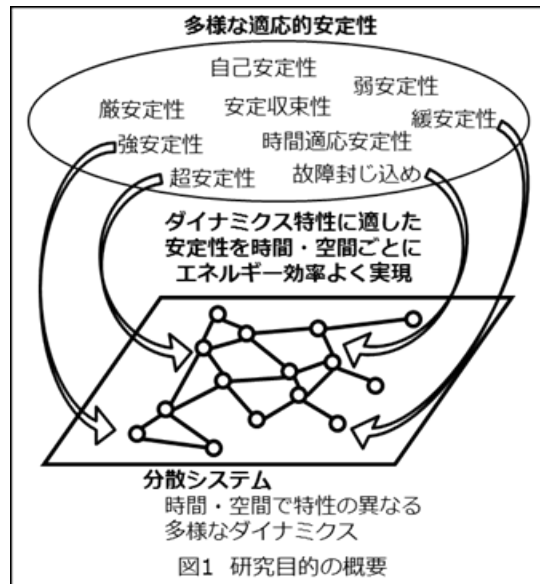
### 2. 研究の目的

次世代ユビキタスネットワーク環境に構築される超大規模次世代分散システムの持続可能性、成長可能性を保証するには、ネットワーク環境やサービス要求などの変動に起因する多様なダイナミクスに対して分散システムがエネルギー効率よく自律的に適応して安定動作することが必要である。これまでに、分散システムのさまざまな適応的安定性モデルが提案されているが、これらを統融合的に扱うアプローチやエネルギー効率を考慮したアプローチは試みられていない。本研究では、これらの多様な安定性モデルを統融合することにより、多様なダイナミクスの時間・空間的特性に応じた適切な安定性を自律的に選択し、エネルギー効率よく実現する自律適応的分散アルゴリズムの理論的基盤と設計法を確立することを主たる目的とする(図1)。

### 3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、以下の研究テーマに取り組んだ。

(1) 多様なダイナミクスの下でのさまざまな適応的安定性モデルの共生可能性の解明：これまでに、自己安定性、厳安定性、強安定性などさまざまな適応的安定性モデルが提案されている。本研究では、多様なダイナミクスに対応するため、その時、その場所のダイナミクス特性に応じて適切な適応的安定性の実現を目指す。これら既存の適応的安定性は、分散システムのダイナミクスに何らかの制約を仮定してはじめて実現が可能になる。本研究では、異なる時空間に異なる安定性を共存させることを目指しており、このためにこれらの安定性の共生可能性を解明する。



(2) ダイナミクスに応じた多様な適応的安定性を実現するための統融合的手法の確立：(1)で解明する適応的安定性の共生可能性に基づき、ダイナミクスの時間・空間的特性に応じた適切な安定性モデルを自律的に選択し実現する分散アルゴリズムの理論的基盤と設計法を確立する。例えば、ダイナミクスの時間・空間的特性を推定し、その推定に基づいて、適切な適応的安定性を選択し、それを実現する分散アルゴリズムの設計を目指す。さらに、安定性モデルの融合により、新たな適応的安定性モデルとその実現法の創出を試みる。

(3) 適応的安定性のエネルギー効率にすぐれた実現方法の確立：(2)の統融合的手法にエネルギー効率化を導入することにより、多様な適応的安定性をエネルギー効率よく実現する分散アルゴリズムの理論的基盤と設計法を確立する。

### 4. 研究成果

まず、研究テーマごとの研究成果の概要を示す。

(1) 多様なダイナミクスの下でのさまざまな適応的安定性モデルの共生可能性の解明：自己安定性、厳安定性、強安定性、弱安定性、緩安定性、故障封じ込め、安全収束性、時間適応安定性などさまざまな適応的安定性モデルが提案されているが、これらの安定性モデルについて、それを実現可能なダイナミクス特性の解明を試みた。その結果、自己安定性、強安定性、緩安定性、故障封じ込め、安全収束性についての新たな知見を得た。また、適応的安定性モデルの時間・空間的共生可能性を解明するために、それぞれの適応的安定性を実現する分散アルゴリズムにおいて局所的なダイナミクスの影響が時間・空間的にどの程度波及するかを解析した。この結果を利用することにより、ダイナミクスの時間・空間的特性が既知であれば、その特性に応じて適切な適応的安定性モデルが選択可能となる。

(2) ダイナミクスに応じた多様な適応的安定性を実現するための統融合的手法の確立：ダイナミクスの時間・空間的特性に応じた適切な適応的安定性を選択し、それを実現する統合的分散アルゴリズムの基盤技術として、ダイナミクスの時間・空間的特性を推定する手法を提案した。さらに、その手法を(1)で設計した分散アルゴリズムに導入し、一定の効果が得られることをシミュレーション実験により実証した。この結果により、ダイナミクスの時間・空間的特性の推定に基づき、その特性に応じて適切な適応的安定性モデルを選択する統合的手法への道を拓いたことになる。

(3) 適応的安定性のエネルギー効率にすぐれた実現方法の確立：分散システムで適応的安定性を実現するためには、ダイナミクスにより変化する分散システムの状況を把握するための常時モニタリング、および、その情報のノード間共有が必要であり、ノードのエネルギーや通信帯域を消費してしまう。そこで本研究では、モニタリングのために常時通信するノードペア数を限定することによりエネルギーや通信帯域の消費を限定する手法、および、モバイル・エージェントを導入することで、ネットワーク全体での通信量を制限する手法の2つのアプローチを検討した。手法については、常時通信するノードペア数を抑えながらも迅速にダイナミクスに適応できる分散アルゴリズムを提案した。については、モニタリングと情報共有を効率的に実現するため、モバイル・エージェントを均一に分散させる均一配置問題、および、エージェントをいくつかのグループに分けて集合させる部分集合問題を新たに提起した。これらの問題に対し、モバイル・エージェントの総移動数をなるべく少なく抑えた分散アルゴリズムの設計に取り組み、いくつかの成果を得た。

これらの結果は、当該分野での一流論文誌 Distributed Computing, Journal of Parallel and Distributed Computing, Theoretical Computer Science, Algorithmica などに、また、当該分野のトップ会議である IEEE ICDCS, ACM PODC, SIROCCO, OPODIS などに採択された。このことは、これらの結果が国際的にも高く評価されたことの証左と言える。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 9件)

Masahiro Shibata, Toshiya Mega, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa, "Uniform deployment of mobile agents in asynchronous rings," Journal of Parallel and Distributed Computing (to appear). 査読有

Yuichi Sudo, Ajoy K. Datta, Lawrence L. Larmore, Toshimitsu Masuzawa, "Constant space self-stabilizing center finding algorithms in chains and trees," Parallel Processing Letters, 28, 2018, pp. 1-15. 査読有

Yonghwan Kim, Haruka Ohno, Yoshiaki Katayama, Toshimitsu Masuzawa, "A self-stabilizing algorithm for constructing a maximal (1,1)-directed acyclic mixed graph," International Journal of Networking and Computing, 8, 2018, pp.53-72. 査読有

Masahiro Shibata, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa, "Move-optimal partial gathering of mobile agents in asynchronous trees," Theoretical Computer Science, 705, 2018, pp.9-30. 査読有

Masahiro Shibata, Shinji Kawai, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa, "Partial gathering of mobile agents in asynchronous unidirectional rings," Theoretical Computer Science, 617, 2016, pp.1-11. 査読有

Yuichi Sudo, Daisuke Baba, Junya Nakamura, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa, "A single agent exploration in unknown undirected graphs with whiteboards," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E98-A, 2015, pp.2117-2128. 査読有

Swan Dubois, Toshimitsu Masuzawa, Sebastien Tixeuil, "Maximum metric spanning tree made Byzantine tolerant," Algorithmica, 73, 2015, pp. 166-201. 査読有

Amos Korman, Shay Kutten, Toshimitsu Masuzawa, "Fast and compact self-stabilizing verification, computation, and fault detection of an MST," Distributed Computing, 28, 2015, pp.253-294. 査読有

Yonghwan Kim, Tadashi Araragi, Junya Nakamura, Toshimitsu Masuzawa, "A distributed and cooperative NameNode cluster for a highly-available Hadoop distributed file system," IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, E98-D, 2015, pp.835-851. 査読有

[学会発表](計 32件)

Tsuyoshi Gotoh, Yuichi Sudo, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa, "Group exploration of dynamic tori," IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS),

2018.7.2-5, Vienna, Austria. 査読有  
Fukuhito Ooshita, Ajoy K. Datta,  
Toshimitsu Masuzawa, “Self-stabilizing  
rendezvous of synchronous mobile agents in  
graphs,” International Symposium on  
Stabilization, Safety, and  
Security of Distributed Systems (SSS),  
2017.11.5-11.8, Boston, USA. 査読有  
Tsuyoshi Gotoh, Fukuhito Ooshita,  
Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa,  
“How to simulate message-passing  
algorithms in mobile agent systems with  
faults,” International Symposium on  
Stabilization, Safety, and Security of  
Distributed Systems (SSS), 2017.11.5-11.8,  
Boston, USA. 査読有  
Yuichi Sudo, Ajoy K. Datta, Lawrence  
Larmore, Toshimitsu Masuzawa, “Brief  
Announcement: Reduced space  
self-stabilizing center finding  
algorithms,” International Symposium on  
Stabilization, Safety, and  
Security of Distributed Systems (SSS),  
2017.11.5-11.8, Boston, USA. 査読有  
Hisaki Kobayashi, Hirotsugu Kakugawa,  
Toshimitsu Masuzawa, “Brief  
Announcement: A self-stabilizing  
algorithm for the minimal generalized  
dominating set problem,” International  
Symposium on Stabilization, Safety, and  
Security of Distributed Systems (SSS),  
2017.11.5-11.8, Boston, USA. 査読有  
Yonghwan Kim, Yoshiaki Katayama,  
Toshimitsu Masuzawa, “An Introduction to  
A (s,t)-directed acyclic mixed graph  
(DAMG) and maximal (s,t)-DAMG  
constructions when  $s \geq 2$  and  $t \geq 2$ ,”  
Korea-Japan Joint Workshop on Algorithms  
and Computation (WAAC), 2017.8.25-26,  
Seoul, Korea. 査読有  
Ajoy K. Datta, Lawrence L. Larmore,  
Toshimitsu Masuzawa, Yuichi Sudo, “A  
self-stabilizing minimal k-grouping  
algorithm,” International Conference on  
Distributed Computing and Networking  
(ICDCN), 2017.1.4-7, Hyderabad, India. 査  
読有  
Masahiro Shibata, Toshiya Mega,  
Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa,  
Toshimitsu Masuzawa, “Uniform deployment  
of mobile agents in asynchronous rings,”  
ACM SIGACT-SIGOPS Symposium on Principles  
of Distributed Computing (PODC),  
2016.7.25-29, Chicago, Illinois, USA. 査  
読有  
Yuichi Sudo, Toshimitsu Masuzawa, Ajoy  
K. Datta, Lawrence L. Larmore, “The same  
speed timer in population protocols,”  
International Conference on Distributed  
Computing Systems (ICDCS), 2016.6.27-30,

Nara, Japan. 査読有  
Quentin Bramas, Toshimitsu Masuzawa,  
Sebastien Tixeuil, “Distributed online  
data aggregation in dynamic graphs,”  
International Conference on Distributed  
Computing Systems (ICDCS), 2016.6.27-30,  
Nara, Japan. 査読有  
Yuichi Sudo, Fukuhito Ooshita,  
Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa,  
“Loosely-stabilizing leader election on  
arbitrary graphs in population protocols  
without identifiers nor random numbers,”  
International Conference on Principles of  
Distributed Systems (OPODIS),  
2015.12.14-17, Rennes, France. 査読有  
Toshimitsu Masuzawa, “Self-  
stabilizing distributed algorithms  
(Keynote),” International Workshop on  
Parallel and Distributed Algorithms and  
Applications (PDAA), 2015.12.8-11,  
Sapporo, Japan. 招待講演  
Ajoy K. Datta, Lawrence L. Larmore,  
Toshimitsu Masuzawa, “Constant space  
self-stabilizing center finding in  
anonymous tree networks,” International  
Conference on Distributed Computing and  
Networking (ICDCN), 2015.1.4-7, Goa,  
India. 査読有  
Ajoy K. Datta, Lawrence L. Larmore,  
Toshimitsu Masuzawa, “Communication  
efficient self-stabilizing algorithms for  
breadth-first search trees,”  
International Conference on Principles of  
Distributed Systems (OPODIS),  
2014.12.16-19, Cortina d'Ampezzo, Italy.  
査読有  
Yuichi Sudo, Fukuhito Ooshita,  
Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa,  
“Loosely-stabilizing leader election on  
arbitrary graphs in population  
protocols,” International Conference on  
Principles of Distributed Systems  
(OPODIS), 2014.12.16-19, Cortina  
d'Ampezzo, Italy. 査読有  
Alexandre Maurer, Toshimitsu Masuzawa,  
“Edge coloring despite transient and  
permanent faults,” International  
Symposium on Stabilization, Safety, and  
Security of Distributed Systems (SSS),  
2014.9.28-10.1, Paderborn, Germany. 査読  
有  
Masahiro Shibata, Fukuhito Ooshita,  
Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa,  
“Move-optimal partial gathering of  
mobile agents in asynchronous trees,”  
International Colloquium on Structural  
Information and Communication Complexity  
(SIROCCO), 2014.7.23-25, Takayama, Japan.  
査読有

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

増澤 利光 (MASUZAWA, Toshimitsu)  
大阪大学・大学院情報科学研究科・教授  
研究者番号：50199692

### (2) 研究分担者

角川 裕次 (KAKUGAWA, Hirotugu)  
大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号：80253110

大下 福仁 (OOSHITA, Fukuhito)  
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授  
研究者番号：20362650

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

( )