

変動する通信環境下におけるモバイル エージェントの性能特性に関する研究

A Study on Factors for Mobile Agent Performance
under Unstable Network Conditions

平成19年3月

浦上 美佐子

山口大学大学院理工学研究科

学位論文内容要旨

学位論文題目：変動する通信環境下におけるモバイルエージェントの
性能特性に関する研究

A Study on Factors for Mobile Agent Performance
under Unstable Network Conditions

指導教員：松野 浩嗣 教授

氏名：浦上 美佐子

山口大学大学院理工学研究科
自然共生科学専攻 複合系解析学講座

近年、ネットワーク上で利用される分散アプリケーションでは、利用者の要求が多様化してきているため、その利用に必要なデータ量が時間的に変動することが多くなってきており、通信環境に与えるトラフィックの変動量は増加傾向にある。一方、通信環境整備に関しては、屋内外において高速回線が整備されてはいるが、通信輻輳の発生や停電などによる物理的障害が生じることもあり、必ずしも安定した通信品質での利用ができない場合が多い。また、インターネットとアナログ回線接続などのように、低品質な通信回線と併用して接続している場合も多く、通信品質が激しく変動することが強く予想される。

ここで、通信環境が変動する原因として、分散アプリケーション利用が通信環境に変動を与える、通信環境自体が変動を与える、の2種類が考えられる。

このように変動する通信環境下においてもネットワーク通信が実現する手段としてモバイルエージェント技術が注目されている。モバイルエージェントは、コンピュータ間を自律的に移動するソフトウェアであり、分散処理環境において、コンピュータ間通信トラフィックを削減したり、ネットワークシステムの対故障性を高めたりすることができる。

既存のモバイルエージェント性能評価研究において、性能を決定する要因として、通信コスト、処理コスト、ターゲット存在確率、モバイルエージェント数が導

入されている。一方、ライフタイムはモバイルエージェントの生成から消滅までの期間であるため、その振る舞いを調査することは重要であるにも関わらず、これを考察した研究は見当たらない。しかも、その概念が、既に公表されている主なモバイルエージェントシステムに標準的に導入されているにも関わらず、適切な値について議論されていないため、この概念の有効性について明らかにすることが必要である。

なお、先に指摘したように、通信環境が変動する原因であるモバイルエージェントを導入した分散アプリケーションの利用および通信環境自体が、モバイルエージェント性能に与える影響として、

- モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響
- 通信環境の変動がモバイルエージェントの移動に与える影響

が考えられるため、これらの場合において、上記性質を明らかにする必要がある。本研究の課題は、以下の通りである。

(1) 既往のモバイルエージェントの性能研究において導入されてきた性能決定要因とライフタイムとの位置づけを行い、ライフタイムが重要な尺度であることを明らかにする。

特に、各モバイルエージェントに適切な一定のライフタイムを与えることにより、各モバイルエージェントの通信・処理コストができるだけ均一になるように訪れるサーバ数や旅程を決定することで、通信環境に影響を与えるモバイルエージェントの数を減少させることができると予測できるため、このことが、全体として情報検索の効率化につながることを明らかにする。

(2) モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響について検討する。一定のライフタイムとモバイルエージェントサイズの増加原因となるターゲット存在確率の2つ要因を計算機シミュレーションのパラメータとして与え、通信・処理コストが平均的になり、かつ使用するモバイルエージェント数が出来るだけ少なくなるように各モバイルエージェントの仕事の効率化を考える。

評価に基づく知見が応用できる事例として、災害時救援活動のための安否情報交換アプリケーションを取り上げ、モバイルエージェント導入による性能向上が

見込めることを指摘する。

(3) 通信環境の変動がモバイルエージェントの移動に与える影響について検討する。

通信環境の変動として、モバイルエージェントが移動失敗する確率を表す回線切断確率を導入し、モバイルエージェントには、移動に失敗した場合においても、新たに生成せずに、再び移動することができる再送機能を与える。ライフタイムとターゲット存在確率は一定とし、新たに与えた回線切断確率とモバイルエージェントの再送間隔の2つのパラメータを変化させ、出来るだけ少ない移動回数で巡回を無事に終えることができ、かつ、使用するモバイルエージェント数が少なくなるように各モバイルエージェントの仕事の効率化を考える。

応用事例として、小型船舶対象の安心ネットワークアプリケーションを取り上げる。海上無線ネットワークを構築する際には、気象条件などによって回線接続状況が変動するが、モバイルエージェントの導入によってその影響を軽減できることを実証実験によって確認し、シミュレーション実験で得られた知見に基づいて、さらに検索効率を向上できる方法について述べる。

Abstract

Title of Thesis: A Study on Factors for Mobile Agent Performance
under Unstable Network Conditions

Name of degree candidate: Misako Urakami

Degree and Year: Ph.D. in Science, 2007

Thesis directed by: Dr. Hiroshi Matsuno

Professor

Graduate School of Science and Engineering

Yamaguchi University, Japan

In recent years, developments of high-speed network infrastructure have been progressed. However, demands for information retrieval through narrow band lines are still exist as getting safety information in an emergency and information for navigating vessels in the inland sea, since in such situations, improper conditions for networks including traffic congestions and/or physical troubles are likely to occur. Furthermore, as rapid progress of the internet growth, it becomes larger and larger to spend time for obtaining the aimed information. The use of mobile agent is a method which enables to transmit data even in such improper conditions.

This paper aims at evaluating the performance of mobile agent in obtaining data in servers by introducing a factor "lifetime". The lifetime reflects the time limitation for mobile agent in searching data in a network. In addition to that lifetime is the time from a mobile agent's creation to the termination of its work.

We should consider the following; ravel of mobile agent has an effect on the performance of network, and conversely, mobile agents are influenced by traffic fluctuation of network.

The work of this research is as follows;

(1) First, this paper clarifies correlation of factors which have been introduced for mobile agent performance.

Then, with focusing on the lifetime and the number of mobile agents, we formalize the problem about an efficient mobile agent information retrieval, and show that this problem is NP complete.

(2) Travel of mobile agent has an effect on the performance of network.

The results acquired from the simulation are as follows.

In general, high and low transmission speeds of a line can be corresponded to low traffic rate and high traffic rate, respectively. To perform information retrieval with mobile agents, if we use high speed network, we need to choose an appropriate value of life time with considering target existing rate. On the other hand, if we use low speed network, the efficiency of information retrieval can be improved by preparing enough number of mobile agents and setting short lifetime without considering the dependency of it with target existing rate.

As an example to which the results from the simulations are applicable, we propose to introduce mobile agents for exchanging sufferer's information in distressed area, pointing out that the introduction of mobile agents can improve the communication efficiency in such a severe situation. For this purpose, we developed a wireless link base station called "ANPI" in which the program to share all sufferer's information data with all shelters is installed. We point out that performance can improve by introducing a mobile agent to this application.

(3) Mobile agents are influenced by traffic fluctuation of network.

Focusing on the function to retransmit mobile agent, we conduct computer simulations with introducing the following two parameters of mobile agent in unstable communication environments; the number of migrations and the number of produced mobile agents traveling all servers. Simulations confirmed that the ability of mobile agent in collecting information can be enhanced by setting the retransmission period of a mobile agent to the average time for its migration between two servers.

As an example to which the results from the simulations are applicable, we propose to introduce mobile agents for the use of wireless LAN system on the sea to navigate a small craft safely, pointing out that the introduction of mobile agents

helps to increase the efficiency in exchanging data between small crafts.

We carried out experiments of some wireless communications on the ad-hoc network constructed in Seto Inland Sea. From the experimental results, we found that wireless communication qualities on the sea are affected by changes in weather conditions and by the passing of large ships. In order to resolve these problems, this paper proposes a plan to use mobile agents which allow small craft to communicate with other stations even in severe wireless communication environments.

目次

第1章 序論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 研究の目的	2
1.3 論文の構成	4
第2章 モバイルエージェント研究の現状	7
2.1 モバイルエージェント技術	7
2.2 モバイルエージェントシステム構築のための基盤ソフトウェアシステムの開発	8
2.3 MASIF での概念モデル	9
2.4 モバイルエージェントシステムの応用事例の試作システムの開発	12
2.5 モバイルエージェントシステムの性能評価研究	13
2.6 本章のまとめ	14
第3章 モバイルエージェントシステムの性能決定要因とライフタイム	15
3.1 既往の性能評価研究の問題点	15
3.2 性能決定要因としてのライフタイムの導入	15
3.3 性能決定のための各要因の相関関係	16
3.4 本章のまとめ	18
第4章 ライフタイムに着目したモバイルエージェント巡回の性質	19
4.1 モバイルエージェントネットワークモデル	19
4.1.1 情報検索システムのモデル	19
4.1.2 モバイルエージェント巡回の仮定条件	20
4.2 モバイルエージェントの巡回効率化の難しさ	21
4.2.1 モバイルエージェントネットワークモデルのグラフ化	21

4.2.2	モバイルエージェントグループ化問題	22
4.3	ライフタイムに着目したモバイルエージェント巡回性質の評価方法	24
4.3.1	モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響調査	24
4.3.2	通信環境の変動がモバイルエージェントに与える影響調査	25
4.4	本章のまとめ	26
第5章	モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響調査とその評価	27
5.1	巡回性質の調査実験のための予備実験	27
5.1.1	パラメータの設定と通信・処理コストの計算	27
5.1.2	シミュレーション概要	28
5.1.3	シミュレーション結果	31
5.1.3.1	低トラフィックの場合	31
5.1.3.2	高トラフィックの場合	33
5.1.4	まとめ	34
5.2	現実のネットワーク環境を想定した巡回性質の調査実験	35
5.2.1	パラメータの設定と通信・処理コストの計算	35
5.2.2	基準ライフタイム	38
5.2.3	シミュレーション概要	38
5.2.4	シミュレーション結果	40
5.2.4.1	低トラフィックの場合	41
5.2.4.2	高トラフィックの場合	44
5.2.5	まとめ	46
5.3	安否情報交換アプリケーションへのモバイルエージェント導入の提案	48
5.3.1	アプリケーション概要	48
5.3.1.1	ネットワークの構築	49
5.3.1.2	無線基地局 ANPI	50
5.3.2	陸上（市街地）無線 LAN の通信品質の変動調査	52
5.3.2.1	通信品質の変動調査方法	53
5.3.2.2	通信品質の調査結果	54

5.3.3	安否情報交換へのモバイルエージェント導入評価	55
5.3.3.1	安否情報交換アルゴリズム ADES	56
5.3.3.2	ADES の性能評価実験	57
5.3.3.3	実験結果	58
5.3.3.4	ADES へのモバイルエージェント導入効果	59
5.3.4	まとめ	62
5.4	本章のまとめと今後の課題	62
第 6 章	通信環境の変動がモバイルエージェントに与える影響調査とその評価	65
6.1	変動する通信回線における巡回性質の調査実験	65
6.1.1	モバイルエージェント導入効果	65
6.1.2	パラメータの設定	66
6.1.3	シミュレーション概要	67
6.1.4	移動回数に着目した評価実験概要	69
6.1.4.1	評価実験概要	69
6.1.5	シミュレーション結果	71
6.1.5.1	移動回数に着目した場合	71
6.1.5.2	モバイルエージェント数に着目した場合	73
6.1.5.3	再送機能を持つモバイルエージェントが巡回に与 える影響	73
6.1.6	まとめ	75
6.2	小型船舶の対象安心ネットワークアプリケーションへのモバイルエー ジェント導入の提案	76
6.2.1	アプリケーション概要	77
6.2.1.1	小型船舶の通信手段確保の重要性	77
6.2.1.2	海難防止を目的とした小型船舶向けサービスの種類	77
6.2.1.3	海上無線 LAN を用いた安心サービス提供のシナリオ	78
6.2.1.4	導入目的	79
6.2.2	海上無線 LAN の通信品質の変動調査	81
6.2.2.1	本調査実験の目的	81
6.2.2.2	海上無線 LAN 構成と使用機器構成	81

6.2.2.3	調査方法	83
6.2.2.4	陸上基地局間の応答時間測定	83
6.2.2.5	各陸上基地局から小型船舶への応答時間測定	84
6.2.3	通行船の横断による通信への影響調査	85
6.2.4	小型船舶対象の安心ネットワークへのモバイルエージェント 導入評価	87
6.2.4.1	陸上間と海陸間における情報検索システム	88
6.2.4.2	実験結果	89
6.3	本章のまとめと今後の課題	91
第7章	結論	93
	謝辞	97
	参考文献	98

目 次

2.1	モバイルエージェントの移動(オンデマンド方式)	10
2.2	モバイルエージェントの移動(一括転送方式)	11
2.3	エージェントシステム	12
3.1	性能決定のための各要因の相関関係	16
4.1	ネットワークシステムモデルの例	20
4.2	ネットワークモデルとグラフの対応	22
4.3	モバイルエージェントへの平均的な担当割当の例	23
5.1	計算機シミュレーション用グラフ	29
5.2	モバイルエージェント数と通信・処理コスト(低トラフィック)	32
5.3	モバイルエージェント数と通信・処理コスト(高トラフィック)	33
5.4	計算機シミュレーション用グラフ	39
5.5	モバイルエージェント数と1エージェントの最大巡回ノード数(低 トラフィック)	41
5.6	通信・処理コスト(低トラフィック)	42
5.7	モバイルエージェント数と1エージェントの最大巡回ノード数(高 トラフィック)	44
5.8	通信・処理コスト(高トラフィック)	45
5.9	提案システムの概要	50
5.10	ANPIの構成	51
5.11	ANPIの試作品	52
5.12	フィールド実験	54
5.13	ADESの概要	58
5.14	安否情報の交換完了数の推移(平均生成間隔:10sec)	59
5.15	安否情報の交換完了数の推移(平均生成間隔:20sec)	60

5.16	安否情報の交換完了率	61
6.1	モバイルエージェントネットワークモデル ^[47]	67
6.2	モバイルエージェントネットワークモデル（移動基地局が3局の場合）	68
6.3	平均移動回数（条件1）	72
6.4	平均移動回数（条件2）	73
6.5	平均モバイルエージェント生成数	74
6.6	小型船舶対象の安心ネットワーク	79
6.7	実験海域の配置図	82
6.8	アンテナ設置例	83
6.9	実験海域付近を航行する船舶の種類	86
6.10	船舶の横行による通信の影響	87
6.11	モバイルエージェント実験	88
6.12	モバイルエージェントと Http get コマンドの実験結果	90

表 目 次

5.1	ロス確率の設定	30
5.2	より現実的なモデルにおけるシミュレーションを行うための変更点	35
5.3	無線ルータ (RTB2400) 仕様	53
5.4	アンテナの高さと利得による通信品質の変動調査結果	55
6.1	変動するネットワークモデルの条件	70
6.2	再送機能を持つモバイルエージェントの条件	71
6.3	小型船舶における主な通信手段	78
6.4	陸上基地局間の応答時間測定	84
6.5	各陸上基地局から小型船舶への応答時間計測結果	85
6.6	横断する船舶速度およびアンテナの高さによる通信品質	86
6.7	HTTP1.1 get コマンド (データサイズ 40kbyte) の応答時間 (ms) . . .	89

第1章 序論

1.1 本研究の背景

インターネットに代表される広域ネットワークは、汎用的な情報流通基盤として発展してきた。このようなネットワーク上で利用される分散アプリケーションでは、利用者の要求が多様化してきているため、その利用に必要なデータ量が時間的に変動することが多くなってきており、加えてこのようなアプリケーション利用が通信環境に与えるトラフィックの変動量は増加傾向にある。一方、通信環境整備に関しては、屋内外において高速ネットワークインフラが整備されてはいるが、通信輻輳の発生や停電などによる物理的障害が生じることもあり、必ずしも安定した高速回線が利用できない場合が多い。また、インターネットとアナログ回線接続などのように、低品質な通信回線と併用して接続している場合も多く、通信品質が激しく変動することが強く予想される。ここで、通信環境が変動する原因として、分散アプリケーション利用が通信環境に変動を与える、通信環境自体が変動を与える、の2種類が考えられる。

このように変動する通信環境下においてもネットワーク通信が実現する手段としてモバイルエージェント技術が注目されている。

モバイルエージェントは、エージェント自身が利用者の代理人としてネットワーク上を自律的に移動しながら特定の仕事を遂行するソフトウェアを示す。このモバイルエージェントを分散アプリケーションへ導入する利点として、コンピュータ間通信トラフィックの削減、通信回線および遅延の低減化、およびネットワークシステムの対故障性の向上が挙げられる。

以上のような特徴を持つことから、これまでモバイルエージェントの研究が多くなされてきたが、その中心は、モバイルエージェントシステム構築のための基盤ソフトウェアシステム^[1-6]とその応用事例の試作システム^[7-10]を開発することであったといえる。しかし、モバイルエージェントシステムを効果的に運用する

ためには、システム開発に加えてモバイルエージェントが本来的に持つ性質を考察し、明らかにすることが必要である。

これまでのモバイルエージェントの性能評価を行った研究では、性能を決定する要因として、通信コスト、処理コスト、ターゲット存在確率、モバイルエージェント数が導入されている（第3章で詳述）。一方、モバイルエージェントシステム間の相互運用に関する標準化として提案されている MASIF (Mobile Agent System Interoperability Facilities) ^[1] には、モバイルエージェントの性能を決定する要因のひとつとして、ライフタイムが取り上げられている。ライフタイムはモバイルエージェントの生成から消滅までの期間であるため、その振る舞いを調査することは重要であるにも関わらず、このライフタイムについて考察した研究は見当たらない。しかも、その概念が、既に公表されている Telescript^[1], Aglets^[2], Plangent^[3] などの主なモバイルエージェントシステムに標準的に導入されているにも関わらず、適切な値について議論されていないため、明らかにすることが必要である。

なお、先に指摘したように、通信環境が変動する原因であるモバイルエージェントを導入した分散アプリケーションの利用および通信環境自体が、モバイルエージェント性能に与える影響としては、

(1) モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響

(2) 通信環境の変動がモバイルエージェントの移動に与える影響

が考えられるため、これら (1) および (2) の場合において、上記性質を明らかにする必要がある。

1.2 研究の目的

前節で述べたように、モバイルエージェントを分散アプリケーションに導入する際には、そのアプリケーション動作を保障するために、モバイルエージェントがネットワーク上を移動することと通信環境が変動することとの影響関係を明らかにしておく必要がある。

本研究では、変動する通信環境下において、モバイルエージェントの典型的な応用事例である情報検索システムを用い、特に、モバイルエージェントのライフタイムに焦点をあて、これがモバイルエージェントシステムの性能に与える影響

について考察する。まだ検討が不十分であるライフタイムを取り扱うため、これを導入基準とした場合のモバイルエージェントの定性的な性質を明らかにすることを目的とする。

本研究の課題は、以下の通りである。

1. 既往研究において導入されてきたモバイルエージェントの性能決定要因の各コストとライフタイムとの位置づけを行い、ライフタイムが重要な尺度であることを明らかにする。特に、各モバイルエージェントに適切な一定のライフタイムを与えることにより、各モバイルエージェントの通信・処理コストができるだけ均一になるように訪れるサーバ数や旅程を決定することで、通信環境に影響を与えるモバイルエージェントの数を減少させることができるかと予測できるが、本研究では、このことが全体として情報検索の効率化につながることを明らかにする。
2. モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響について検討する。一定のライフタイムとモバイルエージェントサイズが増加原因となるターゲット存在確率の2つ要因を計算機シミュレーションのパラメータとして与え、通信・処理コストが平均的になり、かつ使用するモバイルエージェント数が出来るだけ少なくなるように各モバイルエージェントの仕事の効率化を考える。具体的には、通信・処理コスト、モバイルエージェント数、与えられたライフタイム内に巡回を終えることができなかつたモバイルエージェント数（ロス数）を調査することで、モバイルエージェントの巡回性質について検討する。

調査結果より得られた知見をもとに、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として、安否情報交換アプリケーションを取り上げる。本アプリケーションにモバイルエージェントを導入するためには、(A) 災害後に避難所間の連絡通信網として無線ネットワークを設置するため通信品質の調査が必要、(B) 複数の避難所間でデータ共有するための情報交換作業により (A) で構築したネットワークへどの程度の負荷を与えるかの調査が必要、である。そのため、(A) および (B) を確認する実証実験を行い、導入について検討する。

3. 通信環境の変動がモバイルエージェントの移動に与える影響について検討す

る。通信環境の変動として、モバイルエージェントが移動失敗する確率を表す回線切断確率を導入する。一方、モバイルエージェントには、その特徴の一つである再送機能（再送間隔など）を与える。この機能により、移動に失敗した場合においても、新たにモバイルエージェントを生成せずに、再び移動することができる。先の課題と同じネットワークモデルに対して、ライフタイムとターゲット存在確率は一定とし、新たに与えた回線切断確率と再送機能（再送間隔など）の2つのパラメータを変化させ、出来るだけ少ない移動回数で巡回を終えることができ、かつ、使用するモバイルエージェント数が少なくなるように各モバイルエージェントの仕事の効率化を考える。このように、モバイルエージェントの移動がさらなる通信環境の変動原因とならないようにするために、モバイルエージェントの巡回性質について調査検討する。

調査結果より得られた知見をもとに、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として、小型船舶対象の安心ネットワークアプリケーションを取り上げる。本アプリケーションにモバイルエージェントを導入するためには、(A) 海上における無線ネットワークを構築するための通信品質の調査が必要、(B) 実際にモバイルエージェント技術を導入した場合の通信可能なデータサイズによりアプリケーションの仕様が変わるため、そのデータサイズによる通信品質への影響を調査することが必要、である。そのため、(A) および (B) を確認する実証実験を行い、導入について検討する。

1.3 論文の構成

第2章で、一般的なエージェント技術の概念とそれに含まれるモバイルエージェントについて述べ、本論文で用いるモバイルエージェントに関する用語の定義を行う。そして、これまでのモバイルエージェント研究の流れについて、その中のモバイルエージェント性能決定要因研究の必要性について述べる。

第3章では、既往のモバイルエージェント性能評価研究で導入されてきた性能決定要因の相関関係を明らかにし、本論文で取り扱うライフタイムの位置づけを行う。

第4章では、まず、本論文で扱うネットワークモデルとして遠隔情報検索システムをとりあげたうえで、モバイルエージェント巡回の仮定条件を与える。次に、ライフタイムとモバイルエージェント数に着目したときに、最適な巡回を達成するときのモバイルエージェント数を求める問題がNP完全であることを示す。次に、ライフタイムに着目したモバイルエージェント巡回性質を評価するために、本研究の重要なテーマである「変動する通信環境」を、モバイルエージェントを導入した分散アプリケーション利用による通信環境の変動（第5章で議論）と通信環境自体の変動（第6章で議論）、という2点からのアプローチにより計算機シミュレーションによって調査するために与えるパラメータを定義する。

第5章では、モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響調査とその評価を実施する。ここでは、モバイルエージェントに一定のライフタイムを与えたうえで、通信・処理コストが平均的になり、かつ使用するモバイルエージェント数ができるだけ少なくなるように、モバイルエージェントの仕事の均等化することを考える。ライフタイムとターゲット存在確率の値をパラメータとして与えて調査し、特に、均等化による効率化の度合いについて考察する。そして、これらの調査により、情報検索の効率化を図るには適切なライフタイムを用いることが重要であることを示す。さらに、この結果から得られた知見を利用したアプリケーションとして、安否情報交換アプリケーションへのモバイルエージェント導入の提案を行う。

第6章では、通信環境の変動がモバイルエージェントに与える影響調査とその評価を実施する。ここでは、低帯域幅で通信品質が変動する通信環境を与えたネットワークモデルを想定する。特に、このような変動する通信環境においても、モバイルエージェントが巡回を終えることができ、モバイルエージェントの移動がさらなる通信環境の変動原因とならないように移動回数を出来るだけ少なくし、かつ、巡回に必要なモバイルエージェント数を少なくすることが効率化となることに注目して議論する。そして、ライフタイムだけではなく、モバイルエージェントの特徴の一つである再送機能に新たに焦点をあて、変動する通信環境における、巡回に要した移動回数の振る舞いについて考察する。さらに、この結果から得られた知見を利用したアプリケーションとして、小型船舶対象の安心ネットワークアプリケーションへのモバイルエージェント導入の提案を行う。具体的には、環境要因により通信環境が変動しやすい海上において実際にモバイルエージェント

を実装した通信実験を行って基礎データを収集し，モバイルエージェント導入によって回線障害を補うことができることを確認し，その有効性を示す．

最後に第 7 章では，本論文の要点をまとめて結論とし，本研究の今後の展望について述べる．

第2章 モバイルエージェント研究の現状

2.1 モバイルエージェント技術

エージェント技術は、オブジェクトに自律性を与えるための要素技術として急速に発展している。エージェントは、ユーザの代理として活動し、ユーザの目的とする作業を支援するソフトウェア^{*1}の総称として定義されている。実際には、このような定義は広義的であるため、エージェントは様々な研究対象を表す語として用いられている^[12]。これは、人間の代理人としての役割に注目したとらえ方と、技術的な実現方法や能力に注目したとらえ方が入り混じっているからである。前者は、代理エージェントというべきもので、擬人化されたソフトウェアモジュールとしてのとらえ方で、実現方法は問わない。後者は、新しいソフトウェアの実現方法であり、生い立ちからいくつかの流れがある。これは、次のように大きく3種類に分けて考えられている^[13]。

- **知的エージェント (Intelligent Agent)** : 推論, プランニング, そして学習などの知的行動によってユーザから与えられた問題を解決するために活動する。
- **協調エージェント (Multi Agent)** : エージェント同士の会話による情報交換, 打合せ, 交渉に基づき複数のエージェントの協調動作で問題解決を目指す。
- **モバイルエージェント (Mobile Agent)** : 移動エージェントとも呼ばれる。移動能力を持ち, 必要な資源や情報がある場所へ移動し, 目的を達成するために自律的に行動する^{[14][15][16]}。

このように, モバイルエージェントは, エージェント技術の中の一技術として発展してきている。

^{*1}単にプログラムを指す場合もある

2.2 モバイルエージェントシステム構築のための基盤ソフトウェアシステムの開発

モバイルエージェントを実装するために、様々なモバイルエージェントシステムが開発されてきた。

General Magic 社の Telescript は、モバイルエージェントの概念を初めて実装したシステムである。Telescript は、プレース (Place) と呼ばれる非移動型プロセスと、エージェントと呼ばれる移動型プロセスから構成される。エージェントは、移動先やそのプレースでの仕事内容を記述しているチケット (Ticket) を持つ。エージェントは、プレース間を移動するが (Travel), 移動の際にはプログラムコードに加えて内部変数値, 実行状態などが一緒に転送される。このため, 単なるコード転送などとは違い, エージェントは移動先でそれまでの実行を継続することができる。Telescript は現在はサポートされていないが, その概念は他のシステムに多大な影響を与えている。

その他, Java ベースのモバイルエージェントシステムとして, 日本 IBM 社の Aglets, General Magich 社の Odyssey^{*2}, Mole^[4], 国立情報学研究所 佐藤一郎氏の AgentSpace^[5]/MobileApaces^[6] などがある。

既存のモバイルエージェントシステムのほとんどは, 実行状態で転送した後, 必要なコード(クラスファイル)をオンデマンドで転送する。転送するデータ総量は少なくなる可能性があるが, 最小でも2回の通信が必要となり, エージェントの転送時間が遅くなる場合もある。通信方法として, Java の RMI 機構や HTTP(Hypertext Transfer Protocol) と同様の手順を利用しているため, クラスコードをもつ先のコンピュータとの通信回線が絶たれると, それ以上の処理の継続が不可能になるため, 常時接続しなければならない。つまり, モバイルエージェントの移動後でも回線を切断することは不可能である。

一方, AgentSpace は, 通信方法として, コードと実行状態をまとめて転送する一括転送方式を利用している。エージェントが移動するときだけ, 接続を確立すればよいため, エージェントの移動が終了後, 回線を切断することが可能である。

*2現在はサポートされていない

2.3 MASIF での概念モデル

前節で示したように、相次いでエージェントシステムが発表されている。そのため、異なるエージェントシステム同士のエージェント間での相互運用を可能にする標準規格が求められている。代表的な標準化団体としては、FIPA(Foundation for Intelligent Physical Agents)^[17]とOMG(Object Management Group)^[18]がある。

FIPAは、1996年に設立した非営利国際団体で、エージェント技術全般の標準化を目的に現在も活動を続けている。ここでは、エージェントが外部との相互作用に基づいて動作できる環境と、エージェント間の相互運用についての標準化を定めている。FIPAで定めたエージェント通信言語ACL(Agent Communication Language)^[19]などは多くのエージェントシステムに採用されている。

一方、OMGは、IBM、Sun Microsystemsなど多数のハードウェア・メーカ、ベンダーなどが集まって結成した団体で、分散オブジェクト技術の業界標準であるCORBA(Common Object Request Broker Architecture)^[20]を取りまとめている。OMGはモバイルエージェントに的を絞った標準化活動を行っている。1997年に提案要求書の中で^[21]、General Magic社などの意見をふまえ、異なるモバイルエージェントシステム間の相互運用を可能にする標準規格をMASIF(Mobile Agent System Interoperability Facilities)^[11]という提案要求書を発表した。

このMASIFの共通概念モデルで定義されている用語のうち、本論文で必要なものを取り上げ説明する。これらの用語は、IBM社のAgletsを基に作成されたが、団体の性質上CORBA用語、そしてモバイルエージェントを初めて提唱したTelescriptに類似したものとなっている。

(1) モバイルエージェント

モバイルエージェントの機動性に着目し、機動性のあるエージェント、そして機動性の無いエージェントの定義を与える。

エージェントを人や組織のために自律的に活動するコンピュータ・プログラムとして規定する。

(1-1) 機動性の無いエージェント

モバイルエージェントの中でも、実行を開始したシステム上だけで実行するタイプである機動性の無いモバイルエージェントをステーションナリーエージェント (Stationary Agent) という。もし、エージェントが

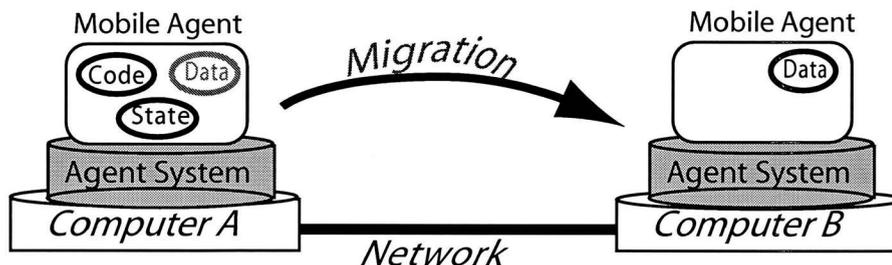


図 2.1 モバイルエージェントの移動 (オンデマンド方式)

Fig. 2.1 Movement of mobile agent (Method of on-demand).

そのシステム上にない情報を必要とする場合は、RPCのような機構を使う。また、機動性がないために通信においては、CORBA、DCOMやJavaのRMI機構を用いて通信処理を行う(図2.1参照)。

モバイルエージェントシステムのうち、Aglets、Odysseyなどは、これに含まれる。

(1-2) 機動性のあるエージェント

実行を開始したシステムに拘束されないタイプである機動性のあるモバイルエージェントをそのままモバイルエージェント (Mobile Agent) という。それはネットワーク上において、あるシステムから別のシステムへ自分自身 (プログラムコード) を移動する特有の能力を持っている(図2.2参照)。

モバイルエージェントシステムのうち、Telescript、AgentSpaceなどは、これに含まれる。

(2) エージェントの状態 (State)

エージェントの状態は、以下のような(2-1)と(2-2)の2つのいずれか、または両方とも持つ状態のことを示す。

(2-1) エージェントの実行状態

プログラム・カウンタの値やスタック・フレームの内容、あるいはCPUや仮想マシンのレジスタ情報などのランタイム状態のことをエージェントの実行状態という。

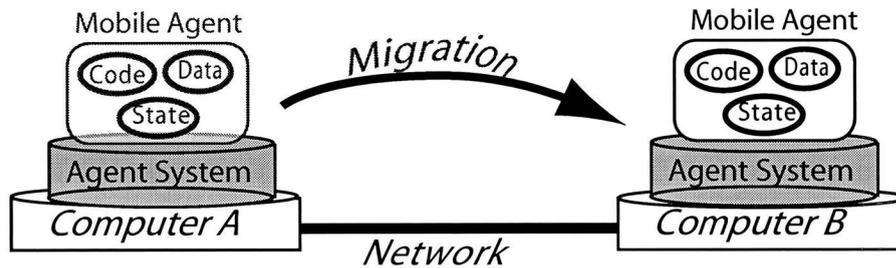


図 2.2 モバイルエージェントの移動 (一括転送方式)

Fig. 2.2 Movement of mobile agent (Method of batch transmission).

エージェントの実行状態は、OS レベル (又は仮想マシンレベル) からだけ見えるデータのことであるが、OS レベルの状態を含むか否かはどちらでもよい。OS レベルで、プログラムの実行の中断や再開を行う際には、ハードウェアレジスタの内容やスタックの内容などを退避復旧する。エージェントが移動する際、これらの値の退避復旧ができれば、エージェントの移動は、プロセスやタスクの中断や再開と同様に考えることができる。

(2-2) 移動後の実行再開時に移動直前の状態に復活させる属性値としての状態

状態とは、プログラムで使用されている変数や配列などに保持されているデータのことである。モバイルエージェントが移動することは、モバイルエージェントの状態とエージェントを構成するプログラムコードを移動先のコンピュータシステムに転送することである。転送が完了したら、エージェントのプログラムコードをコンピュータにロードするとともに、移動直前の状態も復活させる必要がある。

なお、(1-1) 機動性のあるエージェントの移動形態 (マイグレーション) は、実行状態の移動の仕方により複数提案されている^[22]。そのうち、弱マイグレーションは、実行状態を転送しない (プログラムコードとデータを伴い移動)、強マイグレーションは、実行状態を伴い (プログラムコードとデータに加えて実行状態を伴い移動) 移動する。

(3) エージェント・システム

エージェントの生成、解釈、実行、転送、消滅させることができるプラッ

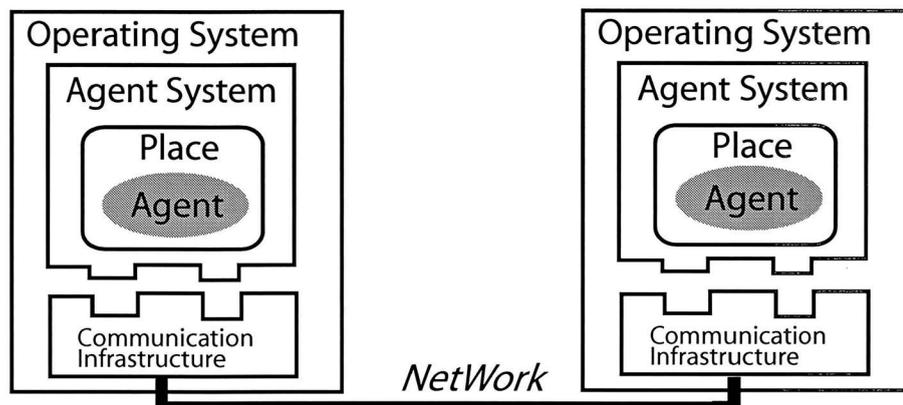


図 2.3 エージェントシステム

Fig. 2.3 Agent system.

トフォームをエージェント・システムという。エージェント・システムは複数のプレース（実行環境）を持つこともできる（図 2.3 参照）。

2.4 モバイルエージェントシステムの応用事例の試作システムの開発

応用事例として、個人の条件にあった旅行ツアー情報を一定期間監視する旅行検索システム「たびCAN」^[7]、企業間高度電子商取引推進事業プロジェクトの一つとして構築された鉄鋼業のための設備 CALS（Commerce At Light Speed）^[8]、ユーザの直接的な家電機器制御に代わる情報家電機器の制御システム SONA^[9]、そして、モバイル端末の不安定なネットワーク環境に対応したモバイルエージェントベースのミドルウェア構築^[10]などがある。すなわち、これまでのモバイルエージェント研究の中心は、モバイルエージェントシステム構築のための基盤ソフトウェアシステムとその応用事例の試作システムを開発することであったといえる。しかしながら、これらの試作システムは、モバイルエージェントの移動先で待ち受けるファイアウォールの対策が困難なことなどを理由とする安全性や信頼性の問題から運用が長続きしなかった。

また、モバイルエージェントの移動はユーザに対して通信遅延の低減を図れるが、同時に移動先サーバに訪れるモバイルエージェントがサーバ負荷を増大させ

るため、各エージェントの高負荷な諸手続きなどにも対応できる性能が要求されてきている。さらに、現在では高速な常時通信回線が容易に利用可能であることから通信回線に負荷を与えるモバイルエージェントを利用することの必要性が揺らいでいることも、モバイルエージェントの利点を再確認しなくてはならない理由になっている。

2.5 モバイルエージェントシステムの性能評価研究

モバイルエージェントシステムを効率的に利用するためには、システム開発に加えて、モバイルエージェントが本来的に持つ性質を考察することが重要である。実際、最近では、モバイルエージェントの導入に関する性能評価研究が多くなっている。例えば、従来の分散システムである Client/Server システムとモバイルエージェントシステム、また移動形態の異なる各モバイルエージェントシステムにおいて、それぞれの要求性能の優位性を調査した研究として文献 [23–25] などがある。また、モバイルエージェントによる分散処理システムを設計する際には、モバイルエージェント自体の移動に要する通信コストをなるべく小さくするよう工夫する必要があるが、これを一般的な情報検索を対象として解析的に考察した研究として文献 [26, 27] などがある。

モバイルエージェントシステムの性能を決める要因として、上に述べた通信コストに加えて、これまでに通信時間やターゲット存在確率、処理コストが導入されている。ターゲット存在確率とは、その移動先サーバにおいて必要な情報（ターゲット）が存在する確率であり、処理コストとは、モバイルエージェントが移動先サーバにおいて仕事を行うときにサーバへ与える負荷である。

文献 [28] は、扱うデータ量の変動が少ない一般的なアプリケーションの場合、モバイルエージェント実行コードの転送により転送量が逆に増加してしまうことが多いため、通信量だけではなく、通信量に対するネットワークの通信性能を計測し、通信時間まで考慮する必要があることを指摘している。また文献 [29] も通信時間に着目し、これを制限することによってサーバ負荷に応じたモバイルエージェントの巡回旅程を決める新しい方法を考案し、シミュレーションにより巡回可能なサーバ数を比較することで、その性能を確認している。

ターゲット存在確率を要因とした研究として文献 [30] がある。この論文では、

ターゲットが見つければその時点で探索が終了，消滅するという条件の下に，モバイルエージェントシステムをモバイルエージェントの機動性と数により 4 つに分類しターゲットの存在確率を事前に与えて，通信コストおよび処理コストが小さくなるような情報探索の旅程を決める方式を提案している．

モバイルエージェントシステムの性能を決める基準として，以上に取り上げた通信コスト，処理コスト，ターゲット存在確率のほかにモバイルエージェント数がある．文献 [31] では，あらかじめ定められた時間内だけに情報が提供されるアプリケーション（ニュース配送，株式情報，為替レートなど）において複数のモバイルエージェントが分担して情報収集を行う状況を想定し，効率的に目的を達成できるモバイルエージェント数と各モバイルエージェントの巡回旅程を決めるアルゴリズムを設計している．また，先の文献 [30] では，ターゲット存在確率とモバイルエージェント数の関係についても言及しており，この確率がある程度確かな場合は必要以上のモバイルエージェントは無駄になることを指摘している．

2.6 本章のまとめ

本章では，まず，一般的なエージェント技術の概念とそれに含まれるモバイルエージェントについて述べ，本論文で用いるモバイルエージェントに関する用語の定義を行った．

次に，既往のモバイルエージェント研究として，モバイルエージェントシステム開発およびその応用事例の試作システムについて述べた．さらに，モバイルエージェントシステムを効率的に利用するためのモバイルエージェント性能決定要因研究の必要性について述べた．

第3章 モバイルエージェントシステムの性能決定要因とライフタイム

3.1 既往の性能評価研究の問題点

モバイルエージェントの移動はユーザに対して通信遅延の低減を図れるが、同時に移動先サーバに訪れるモバイルエージェントがサーバ負荷を増大させるため、各エージェントの高負荷な諸手続きなどにも対応できる性能が要求されてきている。さらに、現在では高速な常時通信回線が容易に利用可能であることから通信回線に負荷を与えるモバイルエージェントを利用することの必要性が揺らいでいることも、モバイルエージェントの利点を再確認しなくてはならない理由になっている。

3.2 性能決定要因としてのライフタイムの導入

MASIF (2.3 詳述) には、モバイルエージェントの性能決定要因のひとつとして、ライフタイムが取り上げられている^[11]。ライフタイムはモバイルエージェントのライフサイクル（生成から消滅まで）に要する時間であり、先に述べたモバイルエージェントシステムのうち、Telescript 及び Plangent は当初からこの概念が組み込まれている。また、Aglets においては QoC (Quality Of aglet Communication) でセッション毎にタイムアウトを設定していたが、ASDK バージョン 2.0 からライフタイムの概念が新たに導入されている^[32]。

モバイルエージェントがライフタイムを持つことの効果として次のようなものが挙げられる。

1. 不要エージェントを半永久的に存在させることを防ぐことができる

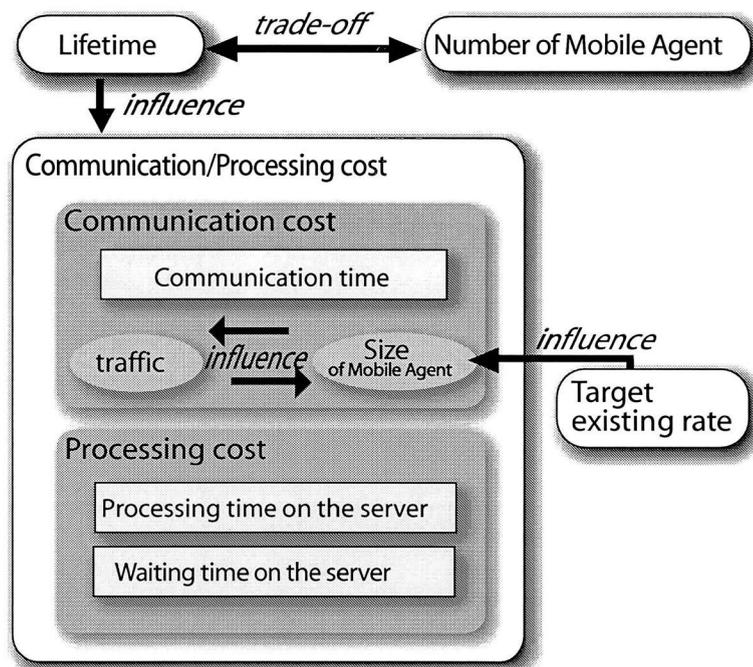


図 3.1 性能決定のための各要因の相関関係

Fig. 3.1 Relationship among factors effecting to mobile agent performance.

2. 組込み機器のような少ない計算機資源の不当消費を防ぐことができる
3. 実行完了時間を決めることができるため、仕事の再計画をスムーズに行うことができる

3.3 性能決定のための各要因の相関関係

図 3.1 に性能決定のための各要因の相関関係を示す。

2.3 で詳述したとおり、モバイルエージェントの移動形態が弱マイグレーションの場合は、プログラムとデータを伴い移動し、強マイグレーションの場合は、プログラムとデータに加えて実行状態を伴い移動する。このデータのサイズはターゲット存在確率の影響を受ける。ただし、モバイルエージェントのプログラムのサイズは一定であることから、移動および通信の効率化という観点では、上記2つの移動形態の違いに本質的な違いはない^[33]。そこで、本論文では、モバイルエージェントシステムの草分けである Telescript に準じた、モバイルエージェントの特

徴である実行状態を含めた移動をする強マイグレーションのモバイルエージェントに着目して議論する。

通信コスト (*Communication cost*) は、モバイルエージェントがサーバ間を移動中にネットワークに与える負荷である。ターゲット存在確率 (*Target existing rate*) が高いほどモバイルエージェントのサイズ (*Size of mobile agent*) はサーバを訪れる度に増加していく。サイズが大きくなると、ネットワークトラフィック (*traffic*) の影響を受けやすく、逆にモバイルエージェント自体がネットワークトラフィックへも影響を与えてしまう。このように、ターゲット存在確率はモバイルエージェントのサイズに反映されるため、通信コストに影響を与える。ここでは、モバイルエージェントがサーバ間を移動するとき必要であった時間を通信時間 (*Communication time*) とよび、これを通信コストの尺度とする。

処理コスト (*Processing cost*) は、モバイルエージェントがサーバで仕事を行うときにサーバへ与える負荷である。処理コストに必要な時間は、サーバ上での処理時間 (*Processing time on the server*) と処理の待ち時間 (*Waiting time on a server*) の和とする。

各モバイルエージェントのライフサイクルにおける旅程内での通信コストと処理コストの時間的な総和を通信・処理コスト (*Communication/processing cost*) と定義する。以上の議論により、通信・処理コストはターゲット存在確率と相関を持つ。実際には、モバイルエージェントのライフサイクルには、非活性化状態 (永続的な場所に状態を退避) ^[34] が含まれるが、これはエージェント活動状態の制御を行うサーバのリソース消費管理やエージェント自ら活性または非活性を決定するエージェント設計に依存する問題であるため、ここでは取り扱わない。

モバイルエージェント数 (*Number of mobile agent*) は、対象となる問題解決を分担する数として扱う。つまり、各モバイルエージェントは、対象となるサーバを分担して巡回する。ライフタイム (*Lifetime*) は一定として各モバイルエージェントに与える。このことにより、ライフタイムは通信・処理コストに制約を与え、各モバイルエージェントの処理負担の均等化を図ることができる。与えられるライフタイムが短い場合、仕事を多くのモバイルエージェントで分担する必要があるため、モバイルエージェント数を多くする必要がある。逆に、ライフタイムが長い場合は、モバイルエージェント数は少なくできる。このように、モバイルエージェント数とライフタイムはトレードオフの関係にあるといえる。

以上に述べたことを踏まえて図3.1を見ると、ライフタイムはモバイルエージェントの性能を決定する多くの要因と影響関係にある重要な尺度であることが再認識できる。したがって、以下では、このライフタイムに焦点をあて、モバイルエージェントの典型的な応用事例である遠隔情報検索システムをネットワークモデルとしてとりあげて、モバイルエージェントによる情報検索の効率について議論する。

3.4 本章のまとめ

本章では、既往のモバイルエージェント性能評価研究で導入されてきた性能決定要因の相関関係を明らかにし、新たにライフタイムの導入によって、さらに以下に示す2つの見地から、ライフタイムがモバイルエージェント性能に大きな影響を与える要因であることを示した。

1. モバイルエージェントがライフタイムを持つ効果（不要エージェントの排除、計算機資源の不当消費の防止、仕事の再計画への誘発など）を提示した。
2. モバイルエージェントの性能決定要因の各コストにライフタイムを加え、これらの相関関係を明らかにした。その際、ライフタイムを一定として各モバイルエージェントに与えることで、以下のことが図れるため、ライフタイムが重要な尺度であることを確認した。
 - 各モバイルエージェントの通信・処理コストに制約を与え、各モバイルエージェントの処理負担の均等化を図ることを確認した。
 - 与えられるライフタイムの長さによりモバイルエージェント数が影響を受け、その関係はトレードオフになる影響関係であることを確認した。

第4章 ライフタイムに着目したモバイルエージェント巡回の性質

4.1 モバイルエージェントネットワークモデル

ライフタイムを用いた情報検索の効率化について議論するまえに、遠隔情報検索システムのネットワークモデルとモバイルエージェント巡回の仮定条件について定める。

4.1.1 情報検索システムのモデル

本論文では、モバイルエージェントを初めて提唱し、その基本概念が現在のモバイルエージェント技術の基礎となっている Telescript の定義に基づいた用語を用いる。

図 4.1 の *internet* に接続しているセグメント (*segment*) は、例えば会社や大学のような組織の内部セグメントに対応している。プレース (*place*) は、モバイルエージェントが移動し、実行することのできる場である。検索実行時のトラフィックの低減を図るために、プレースのあるコンピュータを検索対象サーバと同一セグメント内に少なくとも一つは配置する。マスタープレース (*MasterPlace*) は、すべてのモバイルエージェントが生成・消滅する場である。モバイルエージェントが移動し終わった回線は、切断することができる。このように、マスタープレースで生成された単数または複数のモバイルエージェントは、ユーザからの依頼を受理した後、チケットに記述されている旅程 (巡回順) に従って各々がプレースを分担して巡回し、マスタープレースへ帰着後、仕事の終了を電子メール等の方法でユーザへ知らせ、消滅する。本論文で用いるモバイルエージェントは、ターゲットを見つけると、それを取得するという最低限の機能のみを持っている。

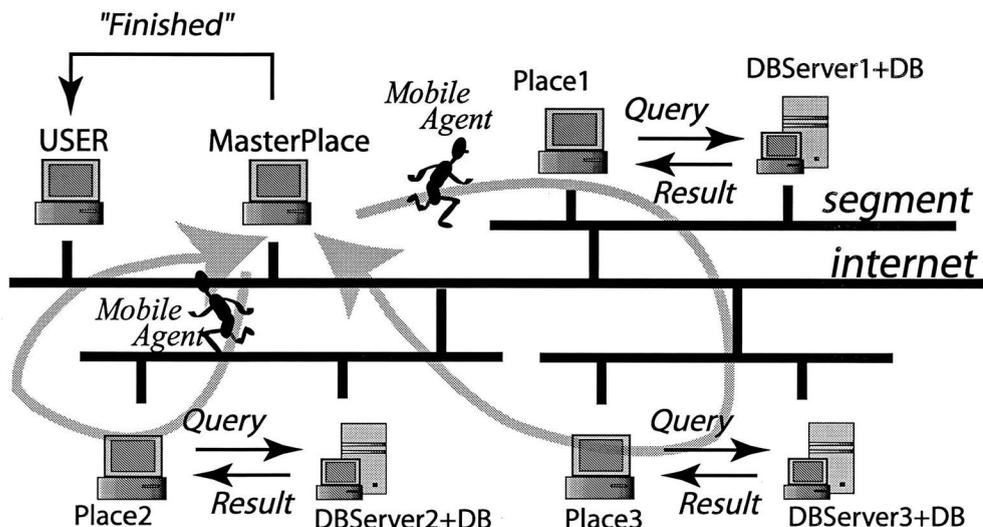


図 4.1 ネットワークシステムモデルの例

Fig. 4.1 Example of network system model.

4.1.2 モバイルエージェント巡回の仮定条件

知的能力を持つモバイルエージェントが提案^[3,35]されているが、旅程決定や協調作業を行うための知的能力のための処理コストは、本論文で取り扱っているモバイルエージェント巡回の性能評価基準とは性質が異なり、モバイルエージェントに与える能力に依存する問題である。

また、モバイルエージェントでは、ネットワーク上で移動している通信コストよりも特定のプレースでの計算処理や移動準備中により生じる処理コストの方がはるかに大きくなることがある^[24]。したがって、複数のエージェントに対して同一プレースへの訪問を許可すれば、特定のプレースにおいて、後から訪問したモバイルエージェントが処理待ち状態になる。このような処理待ち時間による処理コストも、本論文で取り扱っているモバイルエージェントの性能評価基準とは性質が異なっているため、考察の対象から除外する。

以上のことから、本ネットワークモデルにおけるモバイルエージェントの行動に対して、下記に示す仮定条件を与える。

[仮定条件]

1. 全てのモバイルエージェントは、同一のライフタイムを持っている

2. すべてのモバイルエージェントの旅程は移動前に決定される（知的能力の除外）
3. モバイルエージェントが移動しているとき、互いに連絡を取り合うこと（協調作業）はできない（知的能力の除外）
4. モバイルエージェントがプレイス v を訪れるとき、他のモバイルエージェントはプレイス v を訪れることはない（処理待ち時間による処理コストの除外）

4.2 モバイルエージェントの巡回効率化の難しさ

第3章において、モバイルエージェントのライフタイムとモバイルエージェント数はトレードオフの関係にあることを述べた。モバイルエージェントに一定のライフタイムを与え、通信・処理コストができるだけ均一になるようにして、各モバイルエージェントの仕事の均等化を行うことを考える。そして、ネットワークモデルとライフタイム（全てのモバイルエージェントに対して同一）が与えられたときに、移動先サーバに格納されている必要な情報をすべて検索するために必要なモバイルエージェント数を効率の尺度として考える。すなわち、このような最小のモバイルエージェント数が求めたとき、最高の効率化ができたとする。

以下では、ネットワークモデルをグラフ化し「モバイルエージェントグループ化問題」として定式化し、議論を行う。

4.2.1 モバイルエージェントネットワークモデルのグラフ化

インターネットに接続されたプレイス（以下、ノードと呼ぶ）において、モバイルエージェントは、それらのどの2つのノードもお互いに移動可能であるから、各ノード間のリンク関係は図4.2のような、完全グラフ $G = (V, E)$ で表せる。ここで、 $V = \{1, 2, \dots, n\}$ はノード集合、 $E = \{(i, j) | i, j \in V, 1 \leq i, j \leq n\}$ は各ノード間を結ぶリンク集合である。検索サーバの数は既知としているため、 n は予め与えることができる。モバイルエージェントはすべてマスタープレイスであるノード1から移動を開始する。リンク (i, j) は、ノード i から j へのパスがあることを示す。リンク (i, j) における通信・処理コストを $c_{i,j}$ とする。これらの値は事前に設定される。

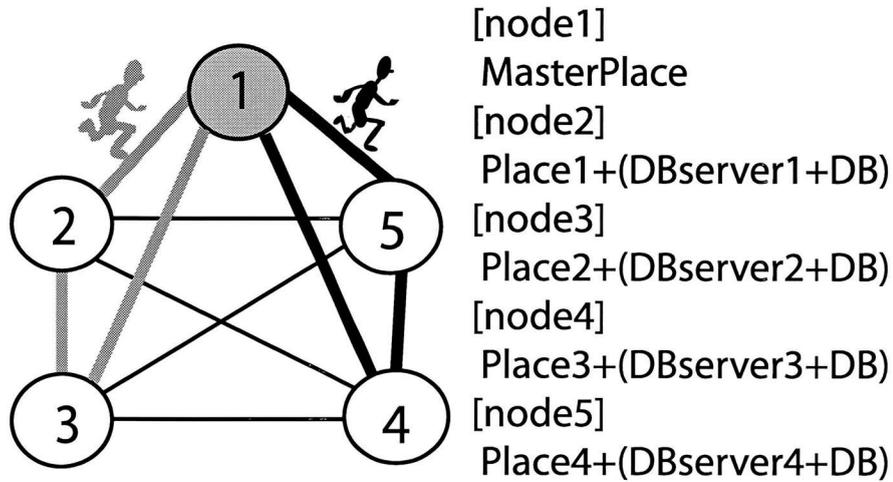


図 4.2 ネットワークモデルとグラフの対応

Fig. 4.2 Correspondence between a network model and graph.

4.2.2 モバイルエージェントグループ化問題

すべてのモバイルエージェントは同一のライフタイムをもつとする。このことを踏まえてモバイルエージェント数に関する効率化の問題を次のように定式化する。

モバイルエージェント A ($1 \leq A \leq m$) がノード 1 から出発して、 $i_1^A, i_2^A, \dots, i_{\ell(A)}^A$ の順にノードを巡回してノード 1 に戻るときのコストは次のように定めることができる；

$$COST(A) = c_{1,i_1^A} + c_{i_1^A,i_2^A} + \dots + c_{i_{\ell(A)-1}^A,i_{\ell(A)}^A} + d_{i_{\ell(A)}^A,1}$$

ただし、 $\ell(A)$ はモバイルエージェント A が到達する最終ノード、 $d_{i_{\ell(A)}^A,1}$ は、ノード $\ell(A)$ からノード 1 に戻るときの通信コスト、そして、 $c_{i,j}$ は、ノード i からノード j への移動における通信・処理コストである。

このとき、各モバイルエージェントのコストが平均的であつ使用するモバイルエージェント数が最小となるようなグループ化ができるか否かの決定問題を次のように定める。

[モバイルエージェントグループ化]

入力：完全グラフ G ，各リンクのコスト $c_{i,j}$ ($1 \leq i, j \leq n$)，エージェントのライフタイム α ($0 < \alpha \leq 1$)，整数 $K \geq 1$

問題：次の 2 つの条件を同時に満たす整数 $k \leq K$ は存在するか

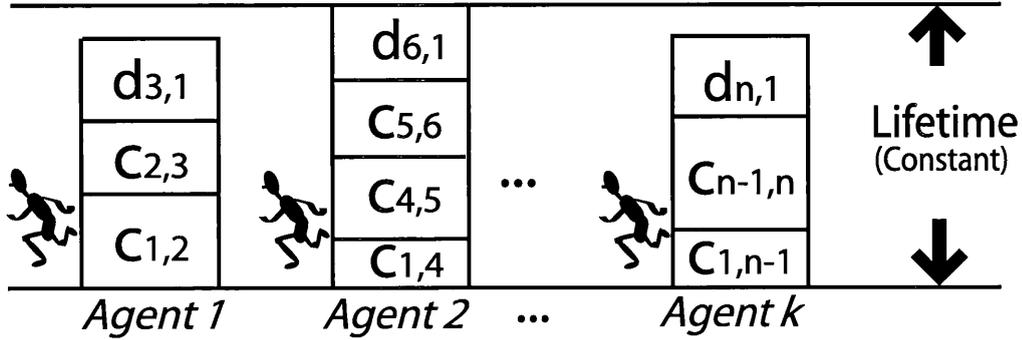


図 4.3 モバイルエージェントへの平均的な担当割当の例

Fig. 4.3 Example of average allocation to mobile agent.

- (1) 各 $\mathcal{A} (1 \leq \mathcal{A} \leq k)$ について $COST(\mathcal{A}) \leq \alpha$
 (2) $\bigcup_{1 \leq \mathcal{A} \leq k} \{i_r^{\mathcal{A}} | 1 \leq r \leq \ell(\mathcal{A})\} = \{2, 3, \dots, n\}$

すべてのモバイルエージェントが、ノード1で生成され移動を開始し、ノード1へ再び戻り消滅する。この間の時間が通信・処理コストである。例えば、図4.3のAgent2に着目すると、ノード1から4、ノード4から5、ノード5から6、そしてノード6から1までのそれぞれの通信コスト及び処理コストの総和が通信・処理コストとなる。

ここで、モバイルエージェントグループ化問題のグループ数 k を1に限定する。すると、すべてのノードを巡回するリンクの通信・処理コストは次のように定めることができる；

$$COST = c_{1,i_1} + c_{i_1,i_2} + \dots + c_{i_{n-1},i_n} + d_{i_n,1}$$

$COST \leq \alpha$ となるように制約が与えられているため、これは与えられた重み付き完全グラフのコストの総和が高々 α のハミルトン閉路があるか否かの問題と等価となる。この問題は、非対称巡回セールスマン問題（非対称 Traveling Salesman Problem, 以下非対称 TSP とする）^[36] であり、非対称 TSP は NP 完全問題である。Restriction の論法^[37]により、以下の定理が成り立つことが示せる。

定理 1 モバイルエージェントグループ化問題は NP 完全である

定理1は、モバイルエージェント数を一つに限定したときでさえ、その効率的な

巡回順序を求める問題はNP完全であることを示している。一般に、モバイルエージェントは複数個存在することを前提としているため、与えられたネットワークについて、モバイルエージェント数が最小となるグループ化を多項式時間で求めることは極めて困難であるといえる。

以上のことから、ライフタイムとモバイルエージェント数はトレードオフの関係にあるが、ライフタイムを一定としたときでさえ最適なモバイルエージェントの巡回割当を求めることは非常に難しいことがわかった。したがって、次章で計算機シミュレーションによりこの関係を調べることにする。

4.3 ライフタイムに着目したモバイルエージェント巡回性質の評価方法

計算機シミュレーションでは、モバイルエージェントに一定のライフタイムを与え、通信・処理コストが平均的になり、かつ使用するモバイルエージェント数ができるだけ少なくなるように、各モバイルエージェントの仕事の均等化を考える。

本節では、ライフタイムに着目したモバイルエージェント巡回性質を評価するために、モバイルエージェントが移動する場である通信環境の変動について、以下の2点から検討するため、それぞれの場合に与えるパラメータを定義する。

1. モバイルエージェントの移動が通信環境に与える影響
2. 通信環境の変動がモバイルエージェントに与える影響

4.3.1 モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響調査

本調査では、モバイルエージェントがサーバ間を移動中に通信環境に与える影響について検討する。

ターゲット存在確率が高いほどモバイルエージェントのサイズはサーバを訪れる度に増加していく。サイズが大きくなると、ネットワークトラフィックの影響を受けやすく、逆にモバイルエージェント自体がネットワークトラフィックへも影響を与えてしまう。このように、ターゲット存在確率はモバイルエージェントのサイズに反映されるため、通信コストに影響を与える。この通信コストに処理コス

ト（サーバ上での処理時間と待ち時間の和）を加えた通信・処理コストがライフタイムよりも大きい場合には、必要なモバイルエージェント数が増加することが考えられる。

一方、モバイルエージェントサイズが増大すると、モバイルエージェントがネットワークトラフィックの影響を直接受けやすくなり、巡回失敗する数が増加することが考えられる。

以上のことを踏まえて、ライフタイムとターゲット存在確率を計算機シミュレーションのパラメータとして与え、通信・処理コスト、モバイルエージェント数、与えられたライフタイム内に巡回を終えることが出来なかったモバイルエージェント数（ロス数）を調査することで、モバイルエージェントの巡回性質について議論する。

さらに、調査結果で得られた知見をもとに、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として、安否情報交換アプリケーションを取り上げる。

4.3.2 通信環境の変動がモバイルエージェントに与える影響調査

本調査では、モバイルエージェントがサーバ間を移動中に通信環境状態の影響を受ける場合について検討する。

ターゲット存在確率が高いほどモバイルエージェントのサイズはサーバを訪れる度に増加していく。サイズが大きくなると、ネットワークトラフィックの影響を受けやすくなる。そのため、移動をするたびに通信・処理コストが増大することで、与えられたライフタイム内に巡回することが出来ず、必要なモバイルエージェント数が増加することが考えられる。

しかし、通信環境が激しく変動した場合には、すべてのモバイルエージェントが巡回できないことが考えられるため、新たにモバイルエージェントの再送機能を導入することで、生成するモバイルエージェント数を抑えることができると期待できる。

したがって、巡回成功する移動回数が出来るだけ少なくなるように、かつ、モバイルエージェント数が少なくなるようにモバイルエージェントにライフタイムや再送機能を与えることが、ネットワークに負荷をかけることなく巡回することが可能となり、全体的に効率化につながることに注意したい。

以上のことを踏まえて、本小節で与えた計算機シミュレーションのパラメータの他に再送機能（再送間隔など）と通信環境の変動によりモバイルエージェントが移動を失敗してしまう確率（回線切断確率）を表すパラメータを与え、モバイルエージェントが巡回成功する際の移動回数に着目し、調査することで、モバイルエージェントの巡回性質について議論する。

さらに、調査結果より得られた知見をもとに、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として小型船舶対象の安心ネットワークアプリケーションを取り上げる。

4.4 本章のまとめ

本章では、モバイルエージェントの巡回効率化の難しさについて検討し、以下の結果を得た。

1. 本論文で扱うネットワークモデルとして遠隔情報検索システムをとりあげたうえで、モバイルエージェント巡回の仮定条件を与えた。次に、ライフタイムとモバイルエージェント数に着目したときに、最適な巡回を達成するときのモバイルエージェント数を求める問題がNP完全であることを示した。
2. ライフタイムに着目したモバイルエージェント巡回性質を評価するために、本研究の主要なテーマである「変動する通信環境」を、モバイルエージェントを導入した分散アプリケーション利用による通信環境の変動（第5章で議論）と通信環境自体の変動（第6章で議論）、という2点からのアプローチについて検討した。

第5章 モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響調査とその評価

本章では、4.3.1 で述べたとおり、モバイルエージェントの移動が通信環境の変動に与える影響調査を行う。

5.1 巡回性質の調査実験のための予備実験

本節では、モバイルエージェントの巡回性質を明らかにするため、次節で実施する計算機シミュレーションで与えるパラメータの妥当性を確認するための予備実験を行う。

5.1.1 パラメータの設定と通信・処理コストの計算

ネットワークモデルは、第4章の図4.1を用いる。トラフィックの変動を考慮することによって、低トラフィックと高トラフィックの2つの場合における実験を行う。実験用パラメータを以下のように与える。

- ネットワーク伝送速度
 - BW : 10Mbps (固定)
- リンクのトラフィック (ネットワークトラフィック)
 - $Traffic_{rate}$: 0~1.0 (一様乱数)
- モバイルエージェントサイズ
 - B_{MA} : 200bytes

- ターゲットデータサイズ

- B_{target} : 50bytes

モバイルエージェントサイズ (B_{MA}) は、プログラムコードサイズ、プログラム内データサイズおよびモバイルエージェントの実行状態サイズを含んでいる。モバイルエージェントが訪れたノードでターゲットを見つけるたびに、そのモバイルエージェントのサイズがターゲットデータのサイズ (B_{target}) ずつ増加される。

モバイルエージェントは主に、モバイルエージェントのライフタイムとターゲット存在確率の2つの性能要因によって影響を受ける。ライフタイムを、0.05s, 0.1s, 0.2sとしてモバイルエージェントに与える。そして、ターゲット存在確率を、30%, 60%, 100%として、ノードに一様乱数で与える。

各モバイルエージェントの通信・処理コストの合計（以下では単に通信・処理コストと呼ぶ）は、モバイルエージェントがプレースを移動して、ターゲットを取得した後、再びマスタープレースへ戻るために必要な時間であると定義する。あるモバイルエージェント A の通信・処理コスト ($Cost_A$) は、次式によって与える；

$$Cost_A = B_{MA} \div ((1.0 - C_{i,j}) \times BW), \quad (5.1)$$

B_{MA} : 現在のモバイルエージェントサイズ,

$C_{i,j}$: ノード i と j 間のトラフィック,

$1.0 - C_{i,j}$: ノード i と j 間の伝送確率,

BW : ネットワーク伝送速度 (固定).

5.1.2 シミュレーション概要

図 5.1 は、想定しているネットワークの例である。完全グラフにおける各ノードは、モバイルエージェントが検索に訪れるプレースとサーバに対応する。

リンクの重みは、0 から 1.0 までの間の一様乱数をトラフィック率として割り当てる。例えば、リンク (i, j) のトラフィック率が 0.2 ならば、ノード i と j の間に流れるデータ量が 80% となる。一般的にネットワークトラフィックは、30% 以下であるといわれる。また、混雑する場合、100% を超える場合もあり、その際は、ユーザが利用を中断する行動をとる場合が多い。トラフィックの変動を考慮することに

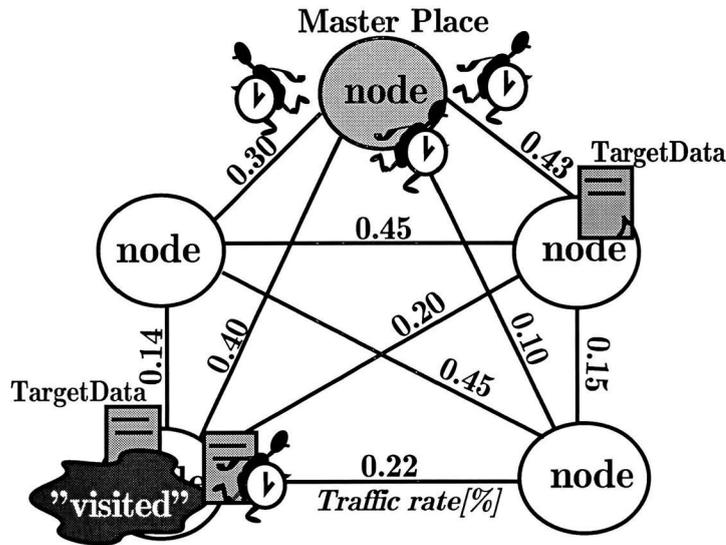


図 5.1 計算機シミュレーション用グラフ

Fig. 5.1 A graph for computer simulation.

よって、低トラフィック (トラフィック率 : 0.01-0.5) と高トラフィック (トラフィック率 : 0.5-0.9) の 2 つの場合における計算機シミュレーションを行う。2 つのノード i と j との間の距離に対する影響は、リンク (i, j) の重みに含まれている。

さらに、通信・処理コストが、ノード間距離、つまりトラフィック率と現在のモバイルエージェントのサイズによって影響を与えられると想定する。モバイルエージェントが訪れるノードの巡回順は一様乱数で与える。

ロス確率は、モバイルエージェントがノード上または移動中に失われる確率である。ここで、ロスとは、モバイルエージェント A の通信・処理コストが与えられたライフタイムを超えたとき、モバイルエージェント自身が消滅してしまうことを示している。ロス確率はモバイルエージェントの大きさとトラフィック率による遅延によって影響を受けるため、このシミュレーションでは表 5.1 のように割り当てる。

(トラフィック率, ロス確率) = (0.9 以上, 30%), (0.8 ~ 0.9, 20%), そして (0.7 ~ 0.8, 10%) のように、ロス確率をトラフィック率に対応させる。

ロスしていないが、ライフタイムが 80% に達したモバイルエージェントは、常にこれまで取得したデータを持ってマスタープレイスに戻るものとする。

計算機シミュレーションの概略を次に示す。ノード数は 200 に固定している。ノー

表 5.1 ロス確率の設定

Table 5.1 Conditions for loss probability.

		Loss probability
Mobil agent size	over 100kbytes	60%
	60~100kbps	40%
	40~60kbps	10%
Traffic rate	over 0.9	30%
	0.8~0.9	20%
	0.7~0.8	10%

ドがモバイルエージェントが訪れたときは、そのノードに“visited”マークを付ける事ができる。

[シミュレーション手順の概略]

- (1) 3つの固定したパラメータ値；ロス確率，ターゲット存在確率とライフタイムを与える。
- (2) 最初，全てのプレースは“visited”のマークは付いていない。
- (3) 全てのプレースに“visited”のマークが付くまで，次の手順を繰り返す。
 - (3-1) モバイルエージェントのチケットのスケジュールを決定する（つまり，“visited”のマークがないノードの訪問順序の決定）。
 - (3-2) モバイルエージェントはノード間を移動する。モバイルエージェントがノードを訪れる度に，そのノードに“visited”のマークを付ける。モバイルエージェントのライフタイムが80%に達したら，強制的にマスタープレースへ戻る。

これらの手続きから，計算機シミュレーションでは，複数のモバイルエージェントが連続してマスタープレースから出発するという仮定の上に行われる。もちろん，モバイルエージェントが通常は並列にノードを移動することができる。文献[40]において，マスタープレースにおけるモバイルエージェントの生成数には制限が生じることを示しているが，本実験では，エージェント数の生成数制限は

行わない。この計算機シミュレーションで、ターゲット存在確率とライフタイムの値を変化させ、モバイルエージェント数と通信・処理コストの変化を観察する。

上記の手続きにしたがって、100回同じ実験を行い、その際に必要であったモバイルエージェント数と通信・処理コストの平均値を求めた。この通信・処理コストの平均値を以下では、これまでの議論で用いた用語と一貫性を保つために、単に通信・処理コストと呼ぶ。

5.1.3 シミュレーション結果

特に次に示す4つのパラメータに着目し、計算機シミュレーションを行った。

1. モバイルエージェント数
2. ネットワークトラフィック
3. ロス数
4. 通信・処理コスト

モバイルエージェント数と通信・処理コストの振る舞いを、図 5.2、図 5.3 のように、低トラフィックと高トラフィックの場合において調べた。

図 5.2 は低トラフィック、図 5.3 は高トラフィック時の実験結果を示す。両図ともに、横軸が各ライフタイムにおけるターゲット存在確率、縦軸（棒グラフ）がモバイルエージェント数、縦軸（折線グラフ）が通信・処理コストを示す。

5.1.3.1 低トラフィックの場合

ターゲット存在確率に着目する。ターゲット存在確率が増加するとモバイルエージェント数も増加する。ターゲット存在確率がより高くなると、それだけモバイルエージェントがターゲットを見つけることが容易になる。すなわち、ターゲット存在確率が高くなるにつれて、モバイルエージェントのサイズはより速く増大する。通常、大きなモバイルエージェントの方が、ノード間の移動のために、より多くの時間が必要となる。そして、ライフタイムの限界を仮定したことから、高いターゲット存在確率では、モバイルエージェントは少数のノードしか訪れることができない。

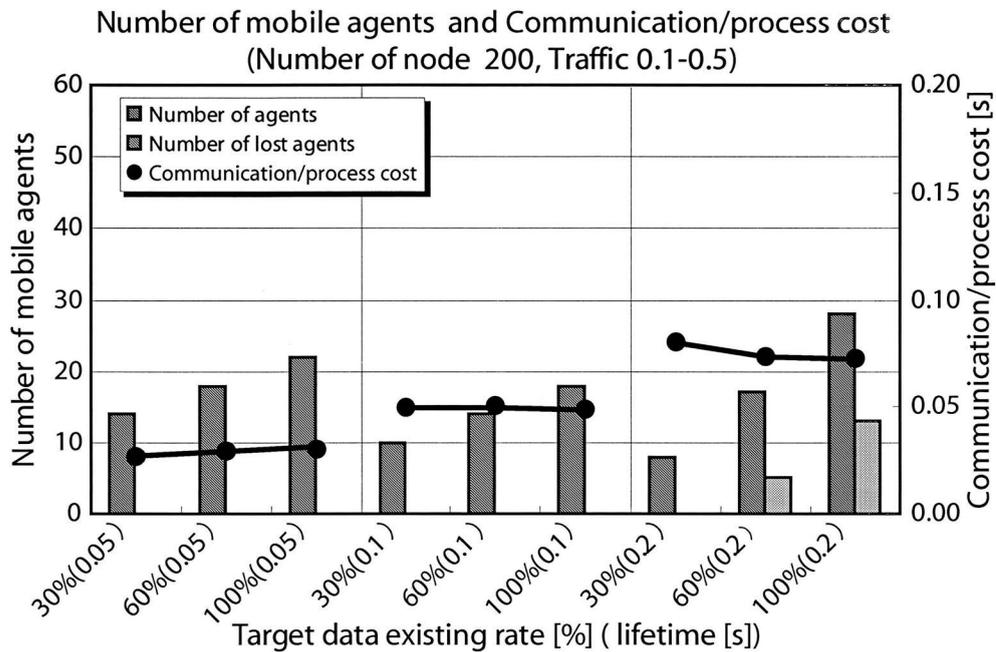


図 5.2 モバイルエージェント数と通信・処理コスト（低トラフィック）

Fig. 5.2 Number of mobile agents and average cost (low traffic).

モバイルエージェント数に着目する。ライフタイムが増加することに伴い、モバイルエージェント数が減少している。ただし、ライフタイムが 0.2、ターゲット存在確率が 60% 以上の場合には増加しているが、これはモバイルエージェント数の中にロス数を含めていることが理由なので、考察からは除外する。これは、モバイルエージェントのライフタイムが長いほど、多くのノードを訪れることができるということに依存する。

ロス数に着目する。ライフタイムが 0.2、ターゲット存在確率が 60% 以上の場合にロス数が存在する。このように、ライフタイムが長く、ターゲット存在確率が大きいとモバイルエージェントがロスしてしまう。この理由は、次に示す 2 つの現象の組み合わせと考えることができる；(1) このようなモバイルエージェントのサイズは一般的に大きいため、多くのライフタイムを持つモバイルエージェントがネットワークトラフィックの変動で影響を受け易い状態にある。(2) ライフタイムの 80% になるとモバイルエージェントは移動を止めて、マスタープレースへ戻るという仮定をしている。

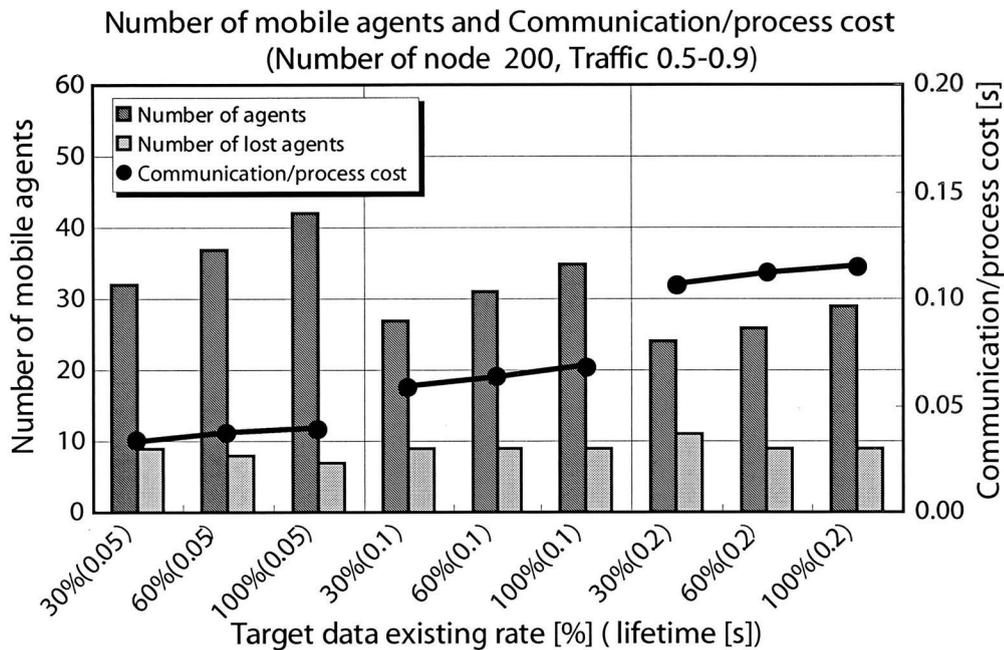


図 5.3 モバイルエージェント数と通信・処理コスト (高トラフィック)

Fig. 5.3 Number of mobile agents and average cost (heavy traffic).

通信・処理コストに着目する。十分ライフタイムを使用して巡回を終えている(均等化) 場合には、通信・処理コストがライフタイムにより近い値となるという点に注意する。ライフタイムが短い方が均等化していることが分かる。また、ターゲット存在確率の増加は、均等化への影響を与えない。

5.1.3.2 高トラフィックの場合

ターゲット存在確率、ライフタイム、通信・処理コストに関しては、ほぼ低トラフィック時と同じ結果が得られた。

低トラフィック時との違いは、ライフタイムに関係なく、モバイルエージェントがロスしていることである。さらに、同じライフタイムで比較すると、ターゲット存在確率が低いほど、よりモバイルエージェントがロスしている。この理由は、ターゲットの存在確率が低いとモバイルエージェントのサイズの増加が緩やかであり、モバイルエージェントがそのライフタイム中に多くのサーバを訪れることができ、移動中にトラフィックの影響を受ける機会が増えるためだと考えられる。

5.1.4 まとめ

低トラフィックのネットワーク上では、モバイルエージェントの移動は主にこれらのサイズによる影響を受ける。また、高トラフィックのネットワーク上では、その移動が主にトラフィックによる影響を受けることが分かった。

以下に本実験から得られた結果を各パラメータ毎にまとめる。ただし、(低)は低トラフィック時に得られた結果、また(高)は高トラフィック時に得られた結果である。

1. ライフタイムに着目

- (低・高) ライフタイムを短く設定した場合、多くの巡回、エージェント数の準備が必要である。

2. 通信・処理コストに着目

- (低・高) ターゲット存在確率の増加は、均等化への影響を与えない。
- (低・高) ライフタイムが短い方がライフタイムを十分使用して、巡回する。

3. ターゲット存在確率に着目

- (低・高) ターゲット存在確率が高くなるにつれて、モバイルエージェント数が増加する。

4. ロス数 (ライフタイムにより巡回を終える前に消滅したモバイルエージェント数) に着目

- (低) ライフタイムが長く、ターゲット存在確率が大きいとモバイルエージェントが巡回失敗しやすい。
- (高) ネットワークトラフィックが混雑しているため、全体的にモバイルエージェントが巡回失敗しやすい。

5.2 現実のネットワーク環境を想定した巡回性質の調査実験

前節において、本調査実験を行うための予備実験を実施した。より現実的なモデルにおける計算機シミュレーションを行うために、表 5.2 に示すようにパラメータを変更した。

表 5.2 より現実的なモデルにおけるシミュレーションを行うための変更点

Table 5.2 Alternative condition for a more realistic model.

実験名称	予備実験 (5.1 節)	本実験 (5.2 節)
方式	自作プログラム	NS2
通信環境	ロス率	UDP パケットを送信
エージェントモデル	任意	Strasser らの研究モデル ^[23]
ライフタイム	任意 (高・低トラフィックは同値)	基準ライフタイム (高・低トラフィックは別値)
ターゲット存在確率	30%, 60%, 100%	0~100(20%)
ノード数	200	30

5.2.1 パラメータの設定と通信・処理コストの計算

設定するシミュレーション用性能評価モデルは、理論式および実装実験結果から強マイグレーションのモバイルエージェントの性能評価を行い、かつ参考文献としても多用されている Strasser らの研究モデル^[23] を基にしている。計算機シミュレーションは、ネットワークの特性評価研究で用いられている NS2^[38] を使用した。トラフィックの変動を考慮することによって、低トラフィックと高トラフィックの2つの場合における計算機シミュレーションを行う。

シミュレーション用パラメータを以下のように与える。ただし、*low* は低トラフィック、*heavy* は高トラフィック時のパラメータである。

- ネットワーク伝送速度

- *BW* : 400kbps

- 遅延時間
 - $Delay : 0.01s(low), 0.5s(heavy)$
- ネットワークトラフィック (512bytesUDP パケット, 送信間隔:0.25s(*low*), 0.1s(*heavy*))
 - $B_{tr} : \text{UDP パケットサイズ} \div \text{送信間隔}$
- モバイルエージェントプログラムサイズ
 - $B_{code} : 10\text{kbytes}$
- プログラム内データサイズ
 - $B_{data} : 5\text{kbytes}$
- モバイルエージェントの実行状態サイズ
 - $B_{state} : 5\text{kbytes}$
- ターゲットデータサイズ
 - $B_{target} : 2\text{kbytes}$

モバイルエージェントサイズ (B_{MA}) は、モバイルエージェントの生成、出発、到着、消滅などのライフサイクルにおける基本的な機能や最低限の仕事を記述したプログラムサイズ (B_{code})、情報検索を行うための検索コードも含めたプログラム中のデータサイズ (B_{data})、そして強マイグレーションに必要なプログラムカウンタなどの実行状態サイズ (B_{state}) の総和である。弱マイグレーションの場合は、 $B_{state} = 0$ になる。

ターゲット存在確率として、0% から 100% の範囲で、20% 刻みでランダムにノードへ与える。訪れたノードでターゲットを見つけるたびに、そのモバイルエージェントサイズがターゲットデータサイズ B_{target} ずつ増加する。ターゲットデータサイズは、モバイルエージェントサイズの増分となるため、ターゲット存在確率の変動によるモバイルエージェントの振る舞いを観察することができる。

モバイルエージェント A が、 V をノード集合、 E をリンク集合としたグラフ $G = (V, E)$ で表されるネットワークを巡回して、モバイルエージェント A がノー

ド1 ($=v_1$) からノード $v_{\ell(\mathcal{A})}$ に至るまでに移動したノードの集合を $TRV(\mathcal{A}) = \{v_1^{\mathcal{A}}, v_2^{\mathcal{A}}, \dots, v_{\ell(\mathcal{A})}^{\mathcal{A}}, v_{\ell(\mathcal{A})+1}^{\mathcal{A}}\} \subseteq V$ とする (ノード $v_1^{\mathcal{A}} =$ ノード $v_{\ell(\mathcal{A})+1}^{\mathcal{A}} =$ ノード1). また, これらのノードを通過したリンクの集合を $TR(\mathcal{A}) = \{e_1, e_2, \dots, e_{\ell(\mathcal{A})}\} \subseteq E$ とする. $\ell(\mathcal{A})$ は, モバイルエージェント \mathcal{A} が巡回するときのノードの個数とリンクの個数である. ノード v_i とノード v_{i+1} をつなぐリンクを $e_i = (v_i, v_{i+1})$ とする. あるモバイルエージェント \mathcal{A} がノード1を出発するときのモバイルエージェントサイズは, $B_{MA}(e_1) = B_{code}(e_1) + B_{data}(e_1) + B_{state}(e_1)$ である. ノード v_i からノード v_{i+1} に移動したとする. すると, リンク e_i を移動するときのモバイルエージェントサイズ $B_{MA}(e_i)$ を次式で表すことができる;

$$B_{MA}(e_i) = B_{MA}(e_{i-1}) + B_{target} \times Target(v_i) \quad (2 \leq i \leq \ell(\mathcal{A}))$$

ただし, $e_i = (v_i, v_{i+1})$ に対して,

$$Target(v_i) = \begin{cases} 1 & \text{ノード } v_i \text{ にターゲットが存在した場合} \\ 0 & \text{ノード } v_i \text{ にターゲットが存在しない場合} \end{cases}$$

モバイルエージェントが訪れるノードの巡回順はランダムに決定され, 各モバイルエージェントのチケットに記述する. 各モバイルエージェントの通信・処理コストは, モバイルエージェントがノード間を移動して, ターゲットを取得した後, 再びマスタープレースへ戻るために必要な時間である. 通信・処理コストを次のように形式的に与える.

あるモバイルエージェント \mathcal{A} に対して, 通信・処理コスト $COST_{\mathcal{A}}$ を次式で表す;

$$COST_{\mathcal{A}} = \sum_{e \in TR(\mathcal{A})} [Delay + B_{MA}(e) \div (BW - B_{tr}(e)) + DB_{pro}]$$

ただし, $B_{MA}(e)$ はリンク e を移動するときのモバイルエージェントサイズ, $B_{tr}(e)$ はリンク e のトラフィック量, $Delay$ は遅延時間, BW はネットワーク伝送速度, そして DB_{pro} はデータベースへのアクセス時間 (サーバ上での処理時間) と待ち時間 (サーバ上での待ち時間) の和である. なお, DB_{pro} は, サーバ側の処理能力は一定と仮定して, ここでは定数とする. ただし, リンク $e_{\ell(\mathcal{A})}$ のとき, ノード $v_{\ell(\mathcal{A})+1}^{\mathcal{A}}$ (ノード1) においてサーバ側の処理は不要なため $DB_{pro} = 0$ とする.

5.2.2 基準ライフタイム

一般に、ライフタイムを短くすれば巡回に必要なモバイルエージェント数は増加し、相対的に1つのモバイルエージェントあたりの通信・処理コストは低下する。また、ターゲット存在確率が増加すれば、ターゲット取得機会が増えるため通信・処理コストが大きくなっていく。以下ではシミュレーションを用いて、この現象のライフタイム依存性を実際に即した環境で調べる。まず、基準ライフタイムを次のように定める。

- 基準ライフタイム: ターゲット存在確率が0%のときに、1個のモバイルエージェントが全ノードを巡回した場合の通信・処理コスト

モバイルエージェントのライフタイムをこの基準ライフタイムより短くとれば、巡回に必要なモバイルエージェント数は2個以上となり、またターゲット存在確率を0%より大きくしてもその個数は2個以上となる。シミュレーションでは、ライフタイムとターゲット存在確率の変化がモバイルエージェント数と通信・処理コストに与える影響を調べる。

基準ライフタイムの値は実際には、ターゲット存在確率0%のとき1個のモバイルエージェントが全ノードを巡回するシミュレーションを100回実行したときの通信・処理コストの平均値（低トラフィック: 1.2s, 高トラフィック: 16.5s）とした。シミュレーションではこの基準ライフタイムの1/3を増分とした3種類のライフタイムを、低トラフィック (0.4s, 0.8s, 1.2s), 高トラフィック (5.5s, 11.0s, 16.5s) としてモバイルエージェントに与える。

5.2.3 シミュレーション概要

図5.4は想定しているネットワークの例である。各ノードは、モバイルエージェントが訪れるプレースとサーバに対応する。

NS2で構成するネットワークは、前節で示した通り、各ノード間をネットワーク伝送速度400kbps, 遅延時間0.01s（低トラフィック）または0.5s（高トラフィック）の全二重で繋ぎ、各ノードのキューはDropTailとする。

30ノードの完全グラフを用い、6種類のターゲット存在確率と3種類のライフタイムによる18通りの組み合わせについて以下の手順でシミュレーションを実行

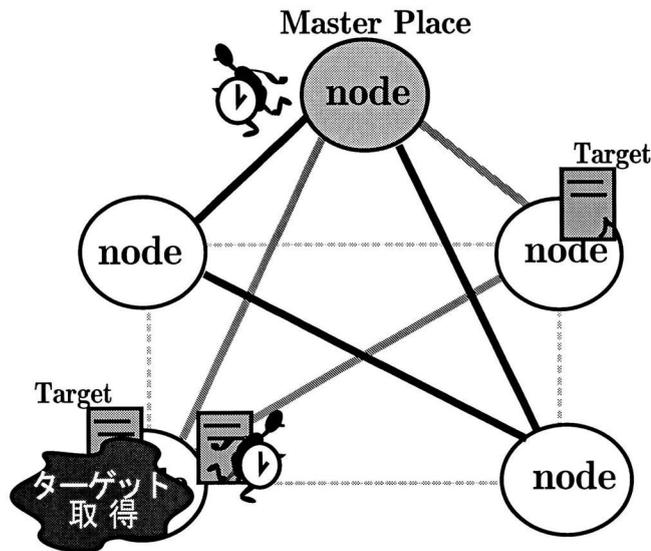


図 5.4 計算機シミュレーション用グラフ

Fig. 5.4 A graph for computer simulation.

した。ただし、基準ライフタイムは低トラフィックと高トラフィックの2種類について行ったので、合計で36種類のシミュレーションを実行している。

[シミュレーション手順の概略]

- (1) 6種類 (0%から100%まで20%刻み) のターゲット存在確率, 3種類 (基準ライフタイムの1/3, 2/3, 3/3) のライフタイムからそれぞれ1つを設定する。
- (2) マスタープレースよりモバイルエージェントを1つずつ順番に出発させる。このモバイルエージェントは次の動作を行う。
 - (2-1) 未訪問のノードをランダムに選択し, そのノードに移動する。
 - (2-2) 訪れたノードにターゲットが存在すれば, それを取得する。
 - (2-3) 巡回中に通信・処理コストがライフタイムに達した場合, 強制的にマスタープレースに戻る。
- (3) 未巡回のノードがあれば, 再度モバイルエージェントをマスタープレースから出発させる。マスタープレースを含めた30個全てのノードを巡回したら, シミュレーションを終了する。

想定している情報検索モデルでは複数のモバイルエージェントが並行して巡回することを許しており(4.1に記述), さらにモバイルエージェントの旅程は移動前に決定される(4.1.2の[仮定条件](2)に記述)としている. ところが, このシミュレーション手順では, モバイルエージェントが1つずつ順番にマスタープレースを出発するとしている. このシミュレーション手順でも想定の情報検索モデルが実現できる理由を以下に説明する.

まず4.1.2の[仮定条件](4)より, モバイルエージェントは与えられた全てのノードを「交わりなく分割して巡回」するので, 1つのモバイルエージェントによってノードを繰り返し巡回するシミュレーションは, 複数のモバイルエージェントの分担による並行巡回と等価となり, 想定した情報検索モデルの本質に影響しない.

次に, シミュレーション手順では1つのモバイルエージェントが巡回順序をランダムに決めながら巡回を実行している点についてであるが, 本論文の目的は, 知的能力を持たないモバイルエージェントが分担して情報検索する場合のモバイルエージェント数, 通信・処理コスト, ターゲット存在確率, 及びライフタイムの影響を調べることであるので, モバイルエージェントの巡回割当や巡回順序は任意である. すなわち, 1つのモバイルエージェントの繰り返し巡回の結果を, その巡回回数と同じ数のモバイルエージェントによる並列巡回とみなして予め与えても問題はない. なお, 巡回順をランダムに与えることにより順序による影響を排除できる.

上記の手続きにしたがって, 同じ計算機シミュレーションを100回実行し, その際に必要であったモバイルエージェント数と通信・処理コストの平均値を求めた. さらに, 1個のモバイルエージェントのより詳しい変化を調べるため, 1個のモバイルエージェントが与えられたライフタイム内で巡回できる最大ノード数(1エージェントの最大巡回ノード数)を求めた.

5.2.4 シミュレーション結果

低トラフィックと高トラフィックの場合において, ターゲット存在確率とライフタイムを変化させたときのモバイルエージェント数と1個のエージェントの最大巡回ノード数をまとめた結果を図5.5と図5.7に, 通信・処理コストの平均値をまとめた結果を図5.6と図5.8に示す. これまでの議論で用いた用語との一貫性を保つために, この通信・処理コストの平均値を以下では単に通信・処理コストと呼ぶ.

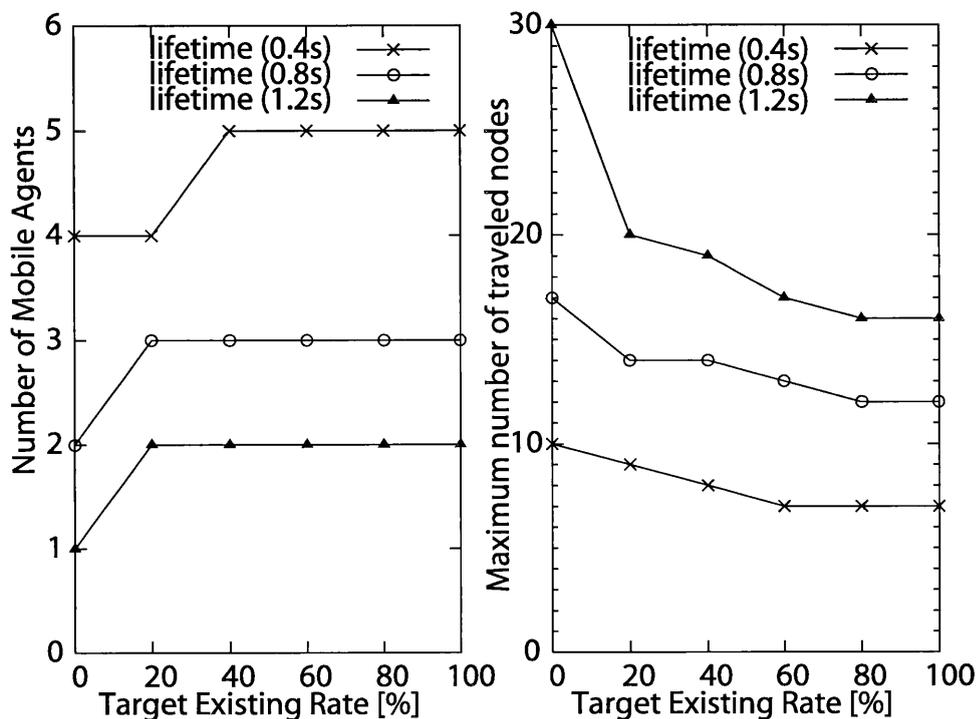


図 5.5: モバイルエージェント数と1エージェントの最大巡回ノード数（低トラフィック）

Fig. 5.5 Number of mobile agents and maximum number of traveled nodes (low traffic).

5.2.4.1 低トラフィックの場合

図5.5の左図より、ライフタイムが1.2sでターゲット存在確率が0%のとき（基準ライフタイム）では1つのモバイルエージェントで全てのノード（30ノード）を巡回できているが、20%以上では2つのモバイルエージェントを要している。この理由は単純であり、ターゲットの取得によって通信・処理コストが増加したため、1つのモバイルエージェントでは全ノードを巡回できなくなったためである。ライフタイムが0.8sの場合、ターゲット存在確率の増加によりモバイルエージェントが2個から3個になる現象も同じ理由による。

一方、ライフタイムが0.4sの場合、ターゲット存在確率が0%のとき巡回に要するモバイルエージェントは4個になっている（単純計算では3個になることに注意）。つまり、ライフタイムが $1/3$ （ $= 0.4/1.2$ ）になっているが、分担するモバ

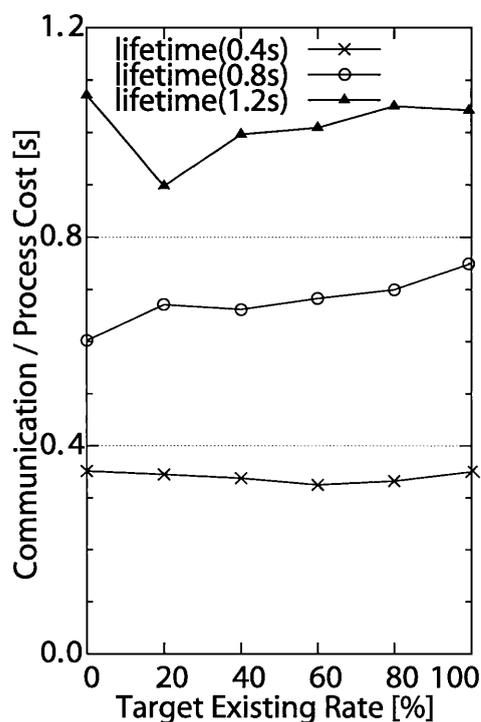


図 5.6 通信・処理コスト (低トラフィック)

Fig. 5.6 Communication/processing cost (low traffic).

イルエージェント数は3倍より多くなっている。この理由として、短いライフタイム設定ではターゲットの取得によってその設定時間を超えてしまう機会が多くなり、設定時間を全て使った巡回が困難になることが考えられる。これは、ライフタイムを短く設定した場合は、巡回のためのモバイルエージェントを多めに準備する必要があることを意味している。

図 5.5 の右図は、1 エージェントの最大巡回ノード数とターゲット存在確率の関係を表している。ライフタイムが 1.2s のとき、ターゲット存在確率が 0% から大きくなるにつれて、最大巡回ノードが 30 個から徐々に下がっていき、100% のときに 16 個になっている。ライフタイムが 0.8s と 0.4s の場合も同様の傾向を示し、ターゲット存在確率が 100% ではそれぞれ 12 個と 7 個まで下がっている。

ところで、容易に分かるように、1 モバイルエージェントの受け持ちノード数は [全ノード数/巡回に要したモバイルエージェント数] より小さくなることはない。これが最大巡回ノード数の下限であり、図 5.5 の右図はターゲット存在確率が大きくなるにつれ、この下限 (ライフタイムがそれぞれ 1.2, 0.8, 0.4 のとき 15 (= 30/2) ,

10 (= 30/3) , 6 (= 30/5)) に近づいていく様子を示している (図 5.5 の左図より, ターゲット存在確率が 100% の場合, ライフタイムが 1.2, 0.8, 0.4 のときモバイルエージェント数はそれぞれ 2, 3, 5 となっていることに注意). つまり低トラフィック時では, ターゲット存在確率の増加に伴って巡回するモバイルエージェントの個数が均等になっていく傾向があることが分かる.

図 5.6 を用いて, この均等化の傾向を通信・処理コストの観点から調べてみる. ライフタイムが 1.2s では, ターゲット存在確率が 20% になったときに通信・処理コストが一旦下がるが (これはモバイルエージェントが 1 個から 2 個になり, 分担を開始したことの影響なので考察の対象から外す. 図 5.5 左図参照.), それ以降は通信・処理コストは上昇している. ただし, どのターゲット存在確率の場合も設定したライフタイム 1.2s との差は大きい.

ライフタイムが 0.8s のときを見てみると, ターゲット存在確率が大きくなるにつれ, 設定したライフタイム 0.8s に通信・処理コストが近づいていっている. これは, ターゲット存在確率が大きい場合, モバイルエージェントがライフタイムを十分使用して, 通信・処理コストの分担の均等化することができることを意味している.

ライフタイムが 0.4s のときは, 他の 2 つの場合と比較して, ターゲット存在確率によらず通信・処理コストは与えたライフタイム 0.4s に近くなっている. これは, ライフタイムが短い場合は, ターゲット存在確率に関係なく通信・処理コストの均等化が行えることを意味している.

以上の議論より, モバイルエージェント数はライフタイムによらずターゲット存在確率の増加につれて均等化していく傾向があるが, 通信・処理コストに関してはターゲット存在確率の増加が均等化に影響するのはライフタイムが比較的長い場合であり, ライフタイムが短いときはターゲット存在確率の影響を受けにくいことが分かる. これは, 低トラフィック時でターゲット存在確率が未知の場合は, モバイルエージェントを多めに準備する必要があるものの, ライフタイムを短く設定することで効率のよい情報検索が出来ることを意味している. また, ターゲット存在確率が大きい場合は, ライフタイムに関係なく分担の均等化がほぼできるため, 準備するモバイルエージェント数を考慮してライフタイムを決定すれば, 効率のよい情報検索ができることを意味している.

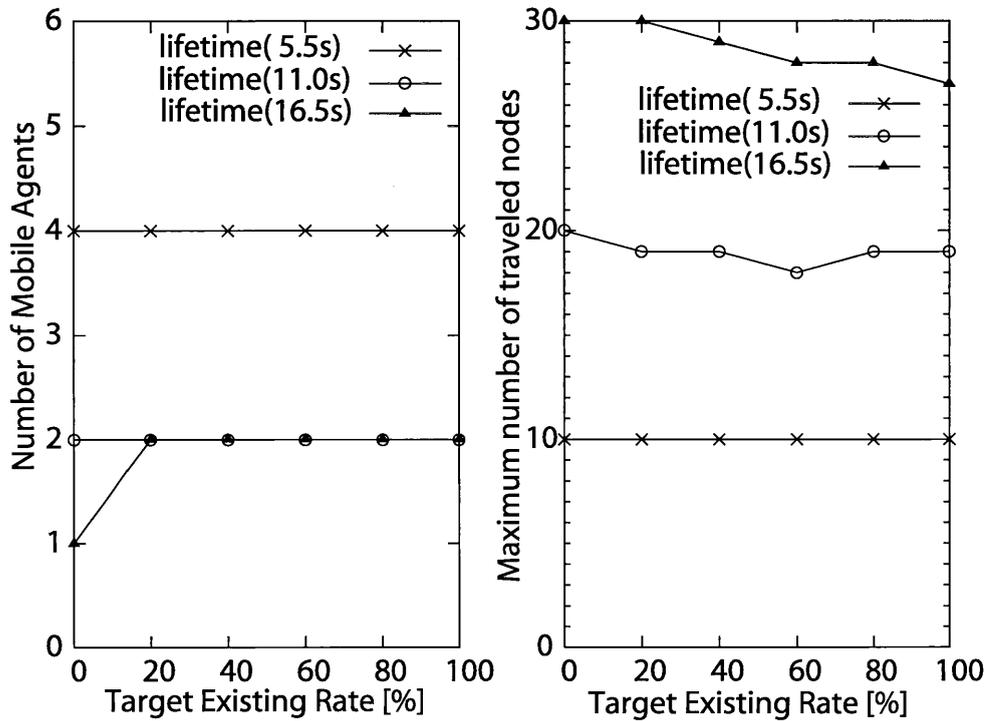


図 5.7: モバイルエージェント数と 1 エージェントの最大巡回ノード数 (高トラフィック)

Fig. 5.7 Number of mobile agents and maximum number of traveled nodes (heavy traffic).

5.2.4.2 高トラフィックの場合

次に、図 5.7 を用いて高トラフィックの場合について観察してみよう。左図を見てみると、ライフタイムが 16.5s でターゲット存在確率が 0% のとき（基準ライフタイム）を除き、巡回に要するモバイルエージェント数はターゲット存在確率の影響を受けず一定（2 個）である。ところが、ライフタイムが 5.5s のときは、モバイルエージェントは 4 個になっている。

この理由は、基準ライフタイム（16.5s）の設定時にネットワークトラフィックの影響も含ませているため、ライフタイムが基準ライフタイムの $2/3$ （ $= 11.0/16.5$ ）に減少しただけではモバイルエージェントの増加は起きないが、ライフタイムが $1/3$ （ $= 5.5/16.5$ ）まで減少するとこの増加が起こるためである。対して、低トラフィック時では、ライフタイムが $2/3$ に減少したときでもモバイルエージェントの

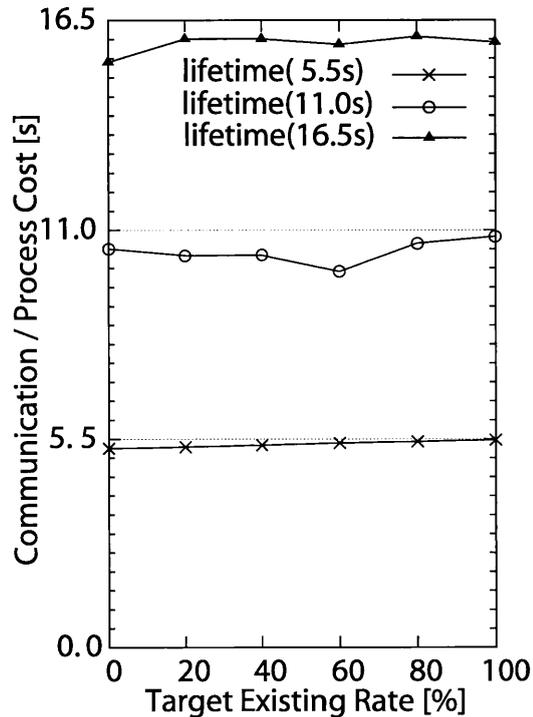


図 5.8 通信・処理コスト（高トラフィック）

Fig. 5.8 Communication/processing cost (heavy traffic).

増加が起こっている。

右図でライフタイム 16.5s のときでは、ターゲット存在確率が増えるにつれて 1 エージェントの最大巡回ノード数は緩やかに減少しているものの、100% 時でもこのノード数は 27 個である。つまりこの場合、2 つのモバイルエージェントが 27 ノードと 4 ノードを巡回しており（合計が 31 ノードであるのは 2 つのモバイルエージェントとも同じマスタープレースがカウントされているため）、分担がアンバランスになっている。

ライフタイムが 11.0s と 5.5s のときについては、1 エージェントの最大巡回ノード数はターゲット存在確率の影響をほとんど受けていない。ターゲット存在確率 100% でこの値はそれぞれ 19 個、10 個であるので、ライフタイム 11.0s のときは 2 つのモバイルエージェントが 19 個と 12 個のノードを担当しており、ライフタイム 16.5s のときと比べ、均等化されている。また、ライフタイム 5.5s のときは、1 つのモバイルエージェントが 10 個のノードを担当しているため、残りの 20 個を 3 つのモバイルエージェントが担当している。測定データを見てみると、これら 3 つの

モバイルエージェントの分担ノード数は9個、9個、2個（マスタープレースのカウンタを除く）となっているが、このアンバランスはライフタイムを基準ライフタイムの $2/3$, $1/3$ と機械的に設定したために生じたものである。実際、ライフタイムを $5.5s$ から少し増やしてシミュレーションを実行すると（この場合は $6.5s$ ）、2つのモバイルエージェントが9個と11個ずつ分担する結果を得ることができる。この結果より、ライフタイムが短くなれば、モバイルエージェントの分担ノード数は均等化される傾向にあることが読み取れる。

つまり、高トラフィック時では、ターゲット存在確率に関係なくライフタイムが短い方がモバイルエージェントのノード分担が均等化されていく傾向があることが分かる。

図5.8を見ると通信・処理コストは、ターゲット存在確率の影響をあまり受けず、設定したライフタイムが短いほど、その値に通信・処理コストが近づいていくことが分かる。これは、設定したライフタイムが短いほど、そのライフタイムを十分使用して、通信・処理コストの分担の均等化を行えることを意味している。

以上をまとめると、高トラフィック時において短いライフタイムを設定した場合、巡回ノードの均等化をすることができるが、低トラフィックのときほどターゲット存在確率は巡回ノードの均等化に影響しないことが分かる。この原因は、高トラフィック時におけるモバイルエージェントの巡回は、ターゲット存在確率の増加に伴う通信・処理コストの増加による影響よりも、ネットワークトラフィックによる影響を大きく受けるためである。

すなわち高トラフィック時では、モバイルエージェントのライフタイムを決定する際にターゲット存在確率を考慮する必要はないが（低トラフィック時では、ライフタイムが長い場合はターゲット存在確率を考察する必要があった）、ライフタイムを短く設定しモバイルエージェント数を多めに準備することでトラフィックの影響を回避でき、情報検索の効率を高めることができると言える。

5.2.5 まとめ

トラフィックは回線の伝送速度に対する伝送データの大きさの比と捉えることができるので、一般に伝送速度が速いときは低トラフィック、遅いときは高トラフィックとみなすことができる。シミュレーションから得られた知見は、数百Mbpsの高速ネットワークでモバイルエージェントによる情報検索を行う場合は、ターゲッ

ト存在確率を考慮したうえでライフタイムとモバイルエージェント数を適切に決定する必要があり（例えば，ターゲット存在確率が未知の場合は，ライフタイムを短く設定し，モバイルエージェントを多めに準備する．また，ターゲット存在確率が大きい場合は，準備するモバイルエージェント数を考慮してライフタイムを決定する．），逆に低速ネットワークでは，ターゲット存在確率によらずライフタイムを短く設定し，モバイルエージェント数を多めに準備することで情報検索の効率化が図れることを示している．

現在は，各モバイルエージェントがそれぞれ1回の巡回で複数のターゲットを取得するモデルを想定しているが，1度取得したターゲットを巡回先で入力データとして扱うことができる2次検索などのような絞込み検索を行うモデル，または，ターゲットの取得や放棄，置換など巡回先の要求に応じて変更できるモデルなど，現実的な複雑さを持つモデルを検討していきたいと考えている．

また，現在は知能を持たないモバイルエージェントを考えているが，複数のモバイルエージェントを用いた情報検索の効率化をさらに向上させるためには，エージェント間の協調が必要である．しかし，知能と機動性にはトレードオフが生じる．すなわち，エージェントに知能をもたせると，知能のための処理プログラムのサイズ分だけ，モバイルエージェントのサイズが増加するため，本シミュレーション結果からも分かるように，移動する際に支障をきたす．小さなサイズのモバイルエージェントがネットワークを移動することに対してはそれほど問題はないが，大きなサイズのモバイルエージェントがネットワークを移動すると，ネットワークに負荷を与えてしまうことになるからである．

これらを考察し，今後は位置固定エージェントとモバイルエージェントとの連携なども考慮した導入方式の検討も行いたいと考えている．

さらに，第4章のモバイルエージェントモデルの仮定条件(2)において，モバイルエージェントの旅程は移動前に決められているとしているが，この選定は通信・処理コストの増減に強く関係する．各モバイルエージェントの通信・処理コストができるだけ均一になるように考慮してノード数や経路を決定することが，全体として情報検索の効率化につながるため，これらの最適なノード数と経路を求める問題についての議論も行いたいと考えている．

5.3 安否情報交換アプリケーションへのモバイルエージェント導入の提案

モバイルエージェントが安否情報（ターゲット）を取得し、各避難所間を移動し、情報交換を行うことを提案する。

調査実験では、ライフタイムおよびモバイルエージェントサイズの増加要因となるターゲット存在確率を変動させて計算機シミュレーションを実施し、その結果、各モバイルエージェントに適切な一定のライフタイムを与えることにより、各モバイルエージェントの通信・処理コストができるだけ均一になるように訪れるサーバ数や旅程を決定することで、通信環境に影響を与えるモバイルエージェントの数を減少させることができるため、このことが、全体として情報検索の効率化につながることを指摘した。

この知見をもとに、本章では、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として、安否情報交換アプリケーションを取り上げる。

モバイルエージェント導入による効果が期待できるか否かを判断するための評価を行うため、次の実験を行った。

1. 災害後に避難所間の連絡通信網として無線ネットワークを設置するため通信品質の調査を実施
2. 複数の避難所間でデータ共有するための情報交換作業が可能か否かの実験を実施

5.3.1 アプリケーション概要

災害発生時の被災者支援活動の際に必要な情報の一つに、被災地域住民の安否情報がある。被災者の安否情報は、遠隔地に住む親類・知人のみならず、被災地区においても、救助活動を必要とする地域の特定や救援物資の準備のための有益な情報となる。そのため災害発生時には、迅速かつ確実に安否情報を得るシステムが必要となる。

災害発生時に安否情報を提供することを目的としたシステムはいくつか既に存在する。同システムには簡単なテキストデータを提供するもの^[4]から、近年では

音声や動画などのマルチメディアデータを提供するもの^[42]もある。しかしながら、既存システムは、電話回線などの災害発生前から既設される公衆回線を通信回線に想定して用いることが多く、また、このような通信回線は、災害発生時の影響を直接受ける危険性が高い。そうでない場合にも、災害発生後に遠隔地からの安否確認のための呼が集中することにより、実質的に機能しないことが多い。これは、既存システムが主に遠隔地に向けた情報発信に主眼を置いているからであり、被災状況の把握に利用することを想定してシステムを構築していないためである。

そこで、被災者支援活動を効果的に支援するための新しい被災情報提供システムの構築を提案する。

同システムが満たすべき条件は以下の通りである。

- (1) 災害発生後において回線切断に強いネットワークが構築できる
- (2) 住民の所在と安否を迅速に把握できる

(1) は、同システムが災害の影響を受けない独自のインフラを構成する必要があることを示している。提案システムは、災害支援活動をサポートすることを目的とするため、電話網などの既設インフラを用いた場合は、災害による切断が起こる可能性が高い。また、切断を免れた場合でも安否確認のための大量発呼により輻輳状態に陥ることが十分に予想されるためである。

(2) は、被災地区において効果的に被災者支援活動をサポートするためには、迅速な住民の安否と所在の把握が必要であることを示している。より迅速な住民の安否や所在の把握は、より迅速な被災者の救助や支援につながる。

安否情報システムの概要を図 5.9 に示し、以下に説明を加える。

5.3.1.1 ネットワークの構築

5.3.1(1) の条件を満たすために、同システムでは一定の耐震性能を持つ建物に、事前に無線基地局を設置しておく。この無線基地局により、システムの基幹となるネットワークを構成する。耐震性に優れた建物にあらかじめ無線基地局を設置するのは、災害発生時の影響をあまり受けないバックボーン回線を用意するためである(図 5.9 (A))。これに対し、各避難所では逆に、災害発生後に無線基地局とアンテナを設置することでネットワークに接続する(図 5.9 (B))。これは、

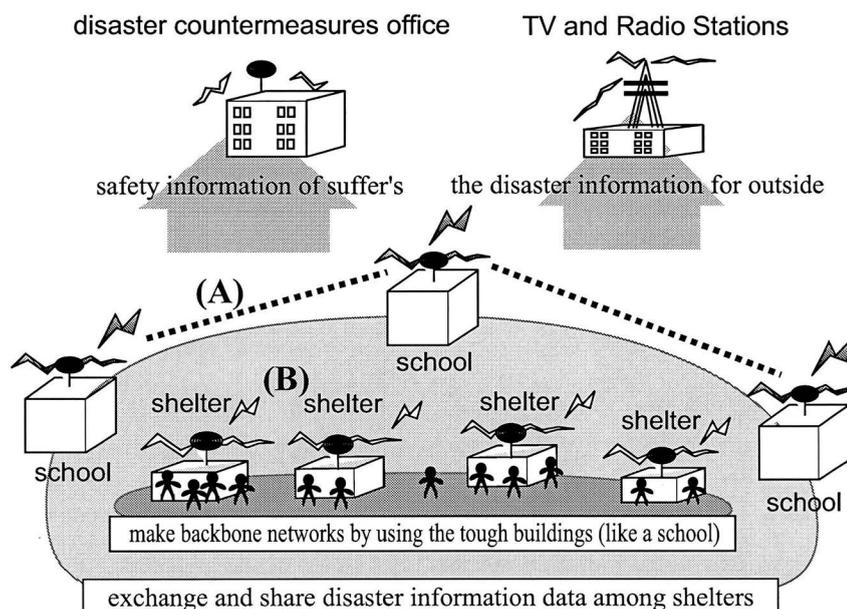


図 5.9 提案システムの概要

Fig. 5.9 System concept.

自治会の集会所などの耐震性能の低い建物では、既設された機器が災害発生時の影響により使用できなくなる可能性があるからである。なお、基幹ネットワークを構成するための建物を選定する基準は、耐震改修促進法^[43]を参考にする。この耐震改修促進法は、1995年に発生した兵庫県南部地震の被災状況を調査した結果を元に施行されたものである。そのため、同法の基準を満たす建物は、同震災レベルの揺れでも倒壊・崩壊しない耐震性能を持つ。この耐震改修促進法の基準を満たすおもな建物には、公立の学校施設などが該当する。これは、近年、公立の学校施設を対象とした耐震診断が積極的に行われた成果である^{[44][45]}。

5.3.1.2 無線基地局 ANPI

5.3.1(2)の条件を満たすために、各避難所間の安否情報を自律的に共有する機能をシステムに付加する。このとき、被災者の安否情報は避難所内に設置したノートパソコンから入力・閲覧することができ、安否情報はANPIに蓄積される。ANPI (Autonomous wireless Network construction Package) とは、無線ルータ・小型マイコン・無線LANアダプタなどの機器を一つのケースにまとめたものである(図

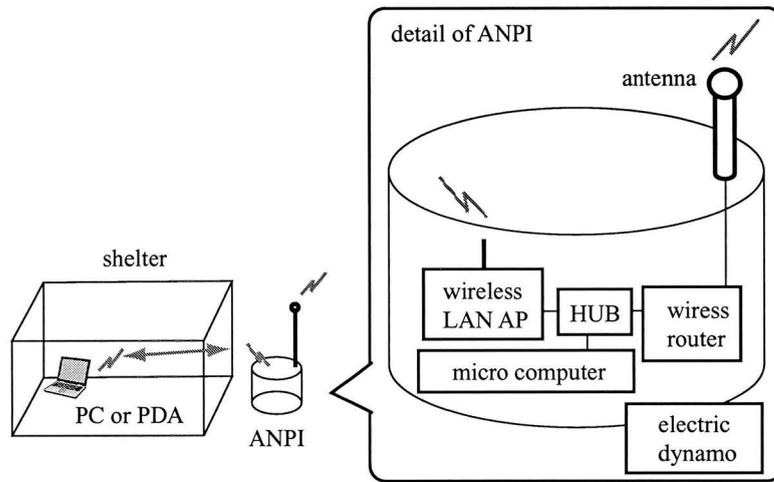


図 5.10 ANPI の構成

Fig. 5.10 Configuration of ANPI.

5.10) . ANPIは、無線基地局の構成に必要な機器をまとめられるように設計されており、すでに屋外に容易に設置できる試作機を製作済みである（図 5.11）。

この ANPI は、発電機から電源を供給するだけでシステムが運用できるように構成されている。また、ANPIには2種類の無線 LAN システムが搭載されている。一方は、伝送速度は遅い（2Mbps）が比較的遠距離まで通信を行うことが可能なもので（図 5.9 (A) で使用）、避難所間の通信用に用いる。もう一方は、伝送速度は速い（11Mbps）が近距離通信しか行えないもので（図 5.9 (B) で使用）、避難所内の PC や PDA 等からの安否情報入力用として用いる。随時蓄積される安否情報は刻々とこの ANPI を通じて避難所間で交換され、最終的にはそれぞれの避難所で全避難所の安否情報を確認することが可能となる。

ANPI 内の小型マイコンには、安否情報を交換するためのプログラムを内蔵する。安否交換プログラムは、避難所の安否情報入力端末から送信される安否情報を小型マイコンに蓄積し、他の避難所と通信することで蓄積されている安否情報を自律的に交換・共有する。被災者は、避難所で ANPI とアンテナを設置し電源を投入すれば、あとは安否情報を入力するだけで、避難所間で自動的に安否情報の交換・共有が行われることになる。

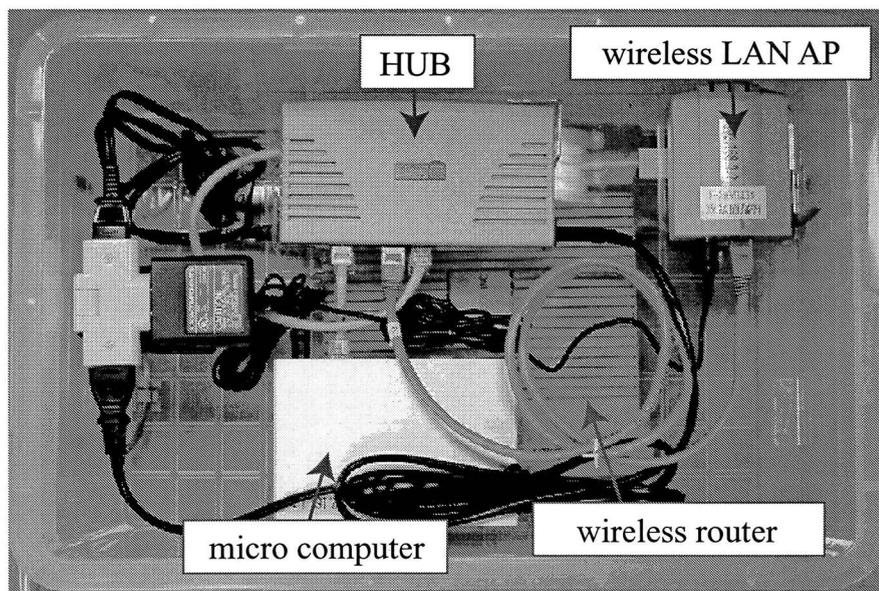


図 5.11 ANPI の試作品

Fig. 5.11 Prototype of ANPI.

5.3.2 陸上（市街地）無線 LAN の通信品質の変動調査

提案システムは、被災地域の各避難所に ANPI とアンテナを設置することで、独自の無線ネットワークを構築する。

実験は、実際の避難所の設置状況を考慮し市街地とした。市街地においては、建物の高さに対するアンテナの高さが問題となる。実際にシステムを構築する際は、どれだけの高さのアンテナを設置すれば通信できるか、各避難所で実際にアンテナを設置して確認するという作業が必要不可欠である。設置アンテナの地上高が高いほど障害物の少ない良好な通信路を確立できるのは当然であるが、過度の高さにアンテナを設置することは、設置の労力や機材のコストなどの無駄を生じる。

無線ルータは、RTB2400(ルート(株)製)^[67]を使用した。基本仕様を表 5.3 に示す。本無線ルータは、無線部に無線 LAN システム標準規格^[68]を採用していること、通信方式に現在のインターネットにおけるデファクトスタンダードとなっている TCP/IP を使用できること、無指向性のアンテナと組み合わせて使用した場合にも最長 5km の伝送が可能であること、実効速度が 500k から 700kbps であることなどの理由からこの無線ルータを使用した。

表 5.3 無線ルータ (RTB2400) 仕様
Table 5.3 Router (RTB2400) specifications.

specification	RCR-STD33A standard (Japanese) for low-power data communications and wireless LAN systems
modulation	DS-SS (Direct sequence spread spectrum)
frequency	2.4GHz band
transmit power	10mW/MHz maximum
link range	5km maximum
modulation rate	2Mbps
interface	10Base-T(RJ-45)
routing protocol	Static / RIPv2

そこで、市街地において提案システムの基盤となる無線ネットワークの構築が可能かどうか検証するため、山口大学（山口県山口市）周辺の避難間で、アンテナ高とアンテナ間の距離を変化させ、無線通信のフィールド実験を行った。

5.3.2.1 通信品質の変動調査方法

図 5.12 の AB 間、CD 間のそれぞれで、以下のような手法で計測を行った。本実験の目的は、2 点間でアンテナの高さまたは距離の影響を受けた場合において、どの程度の通信品質の変動が生じるかの基礎データを収集することである。なお、使用アンテナは無指向性で利得の違う 3 段コリニアと 8 段コリニアを使用した。アンテナの高さは 1m～12m まで伸縮することができるマストに接続し変化させる。

- (1) 2 点に ANPI とアンテナを設置する。最初は 12m 伸縮マストを両方とも 12m に設定し、アンテナは利得の低い 3 段コリニアを使用する。
- (2) 現在の状態（12m マストと 3 段コリニア・12m マストと 3 段コリニア）で通信可能かどうか確認する。確認後、ping コマンドによる遅延時間計測（パケットサイズ 32bytes および 1472bytes を各 20 回ずつ実行しその平均値を記録）し、FTP でのダウンロードによる転送速度の計測（1Mbytes のファイルダウンロードを 3 回実行しその平均値を記録）を実施する。

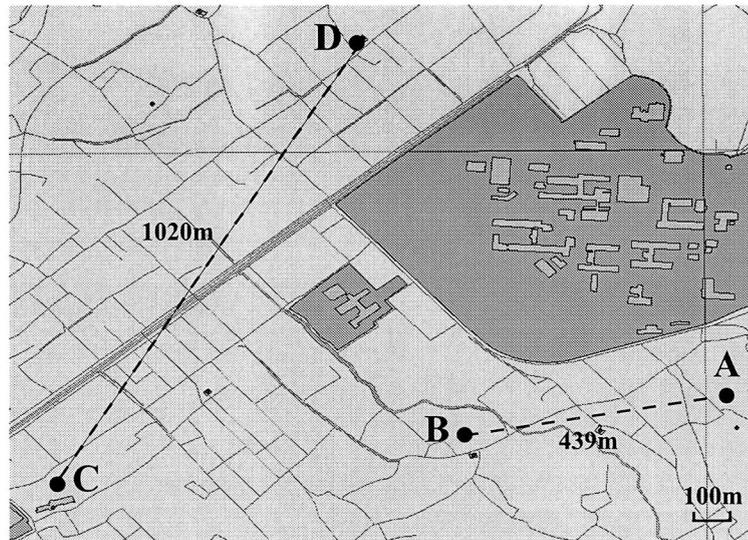


図 5.12 フィールド実験

Fig. 5.12 Field for experiments.

- (3) 片方のマストの高さを 2m 下げ, (2) の計測を行う. 以下同様にマスト長の変更と計測を行っていく. 通信不可能になった場合は, アンテナを利得の高い 8 段コリニアに変更する.
- (4) 通信不可能な高さになるまで, 繰り返し (2) と同様の計測を行う.

5.3.2.2 通信品質の調査結果

得られた結果のうち, AB 間, CD 間の ping コマンドと FTP によるダウンロードの実行測定結果を表 5.4 に示す. 避難所間 (*point*) は, AB 間の約 500 m, CD 間の約 1km の距離である. 「避難所間」のアンテナの設置地点 (図 5.12 参照) と計測した順番を表している (AB-1 は A-B 間で 1 つ目の計測であることを表す). たとえば, AB-1 は, AB 間で 1 番目に行った計測であることを表している. この計測を行ったときの条件は, A 地点のアンテナ (*point1 antenna*) の高さ (*height*) が 12m, アンテナの利得 (*gain*) が 3dBi, B 地点のアンテナ (*point2 antenna*) の高さが 12m, アンテナの利得が 3dBi, そして図 5.12 より, AB 間の距離は 439m である. この条件における通信結果 (*communication*) は, 通信可能 (○) である. ping の計測結果より, AB 間, CD 間いずれの場合も, 通信距離に関係なく, パ

表 5.4 アンテナの高さと利得による通信品質の変動調査結果

Table 5.4 Effect of the communication quality by the height and gain of antenna.

point	point 1 antenna		point 2 antenna		ping								FTP	comm- nica- tion ○/×
	height [m]	gain [dBi]	height [m]	gain [dBi]	32bytes				1472bytes					
					min [ms]	max [ms]	avg [ms]	loss [%]	min [ms]	max [ms]	avg [ms]	loss [%]	avg [bps]	
AB-1	12.0	3	12.0	3	10	18	10	0	62	67	63	65	13140	○
AB-2	10.2	3	12.0	3	0	0	0	100	0	0	0	100	0	×
AB-3	10.2	6	12.0	3	0	0	0	100	0	0	0	100	0	×
AB-4	12.0	3	10.2	3	10	16	11	30	67	73	68	75	20501	○
AB-5	12.0	3	8.5	3	10	12	10	0	61	62	61	20	23574	○
AB-6	12.0	3	6.9	3	10	11	10	0	61	63	61	20	26001	○
AB-7	12.0	3	5.4	3	10	11	10	0	61	63	62	20	25897	○
AB-8	12.0	3	3.9	3	0	0	0	100	0	0	0	100	0	×
AB-9	12.0	3	3.9	6	0	0	0	100	0	0	0	100	0	×
CD-1	12.0	3	12.0	3	0	0	0	100	0	0	0	100	0	×
CD-2	12.0	6	12.0	3	10	11	10	5	62	63	62	90	0	○
CD-3	10.2	6	12.0	3	10	11	10	5	62	65	62	65	9322	○
CD-4	8.5	6	12.0	3	0	0	0	100	0	0	0	100	0	×
CD-5	8.5	6	12.0	6	10	11	10	5	62	63	62	40	10914	○
CD-6	8.5	6	10.2	6	10	11	10	0	62	63	62	55	12951	○
CD-7	8.5	6	8.5	6	0	0	0	100	0	0	0	100	0	×

ケットサイズが小さい場合は快適に通信できていることがわかった。また、設置点1と2のアンテナの高さに注目すると、AB間ではその差が6m以上あるのに対し、CD間では2m以下であることがわかる。これは、アンテナを設置した場所の周辺環境が大きく影響していると考えられる。事実、A地点の周囲には高い木が生い茂っており、これにより通信状態が悪化したと考えられる。

以上のことから、避難所に設置するアンテナの高さや利得は、通信経路の障害物や、設置点の高度差などを考慮して決定する必要があることがわかった。

5.3.3 安否情報交換へのモバイルエージェント導入評価

提案システムでは、避難所で入力された安否情報は、屋外に設置したANPI内の小型マイコンに蓄積され、小型マイコンに組み込まれている安否情報交換プログラムによって、他の避難所と交換・共有される。

本節では、小型マイコンに組み込む安否情報交換プログラムのアルゴリズムADES(Autonomous Data Exchange System)について説明する。そして、ADESをノートPCに実装して行った性能評価実験について述べる。

5.3.3.1 安否情報交換アルゴリズム ADES

ADES は 3 種類の機能と、3 種類のファイルによって、安否情報の交換を行う。図 5.13 は、ADES の概要を示す。また、以下に示す [3 種類の機能] は、ADES で用いる機能とその概要、[3 種類のファイル] では、ADES で取り扱うファイル種別とその説明を述べる。

[ADES の動作]

- **CHECK** : 自分以外のノードに対して、通信可能であるか存在確認を行う。存在が確認できたら、自分のアドレスリストに相手の IP アドレスを追加する。
- **LIST** : 自分以外のノードに対して、データリストを要求・取得する。相手の旧データリストを新データリストとして保存する。
- **EXCHANGE** : 自分以外のノードに対して、安否情報データの要求・取得する。手元にある相手の旧データリストと新データリストを比較し、不足分の安否情報データを要求する。取得できた安否情報データのインデックス情報を、相手の旧データリストに追加する。

[3 種類のファイルと安否情報データ]

- **アドレスリスト** : 各ノードが一つずつ所持するファイル。所持するノードが通信可能な相手ノードの IP アドレスを記載。
- **旧データリスト** : 自分の IP アドレスと通信可能な相手ノードの数だけ在るファイル。相手ノードの安否情報データのインデックス情報を記載。
- **新データリスト** : 通信可能な相手ノードの数だけ在るファイル。相手ノードの安否情報データの最新インデックス情報を記載。
- **安否情報データ** : 避難所から入力された安否情報が記載されているファイル。

以下に ADES の動作を説明する。

[ADES の動作]

1. CHECK 機能 (図 5.13 (A)) は、通信可能な他のノードを検索し、「ANPI α 以外」の IP アドレスを、「ANPI α 」が持つアドレスリストに追加する。

2. 「ANPI α 」に対して避難所から安否情報が登録されると（図 5.13 (B)）, 「ANPI α 」には安否情報データと共に旧データリストが生成される（図 5.13 (B-1)）. この旧データリストは, 「ANPI α 」に存在する安否情報データのインデックス情報が追加される.
3. LIST 機能（図 5.13 (B-2)）は, 「ANPI α 以外」が「ANPI α 」に対して旧データリストを要求する. 「ANPI α 以外」が「ANPI α 」の旧データリストを取得する際, それは, 「ANPI α 」の新データリストとして保存される. この新データリストは, 「ANPI α 」が持つ安否情報データの最新のインデックス情報が書かれている.
4. EXCHANGE 機能（図 5.13 (b)）は, LIST 機能で取得した「ANPI α 」の新データリストと, 手元にある「ANPI α 」の旧データリストを比較し, 不足分の安否情報データを「ANPI α 」に対して要求する. 取得できた安否情報データのインデックス情報は, 旧データリストに追加する（図 5.13 (c)）.

5.3.3.2 ADES の性能評価実験

実験機材として, ノート PC, 無線ルータ, アンテナを各 5 台ずつ用意し, ノード数 5 の無線ネットワークを構成した. そして, ADES をノート PC に実装し, 安否情報交換の性能を評価するための実験を実施した. ADES を稼働させ, 各ノードにて同時に, 1 ノードあたり 100 個の安否情報を一定間隔で入力し, その交換される様子を計測した（実験では自動的に安否情報を生成している）. 安否情報データは 1 つあたり 32bytes とし, 各ノードでの生成間隔は, 10sec, 20sec, 30sec, 40sec, 50sec, 100sec, 200sec の 7 パターンで行った. この 7 つの生成間隔は, 実際の安否情報の入力間隔を想定して決定した. PC へのデータ入力に慣れている人なら 10sec 程度で安否情報の入力が完了し, 慣れていない人は 50sec 程度かかると仮定したものである. より長い生成間隔の振る舞いも確認するため, 100sec および 200sec での計測も行った. ただし, この生成間隔は完全に一定ではなく, 例えば, 生成間隔 10sec の場合は, 平均 10sec の指数分布に従うものとした.

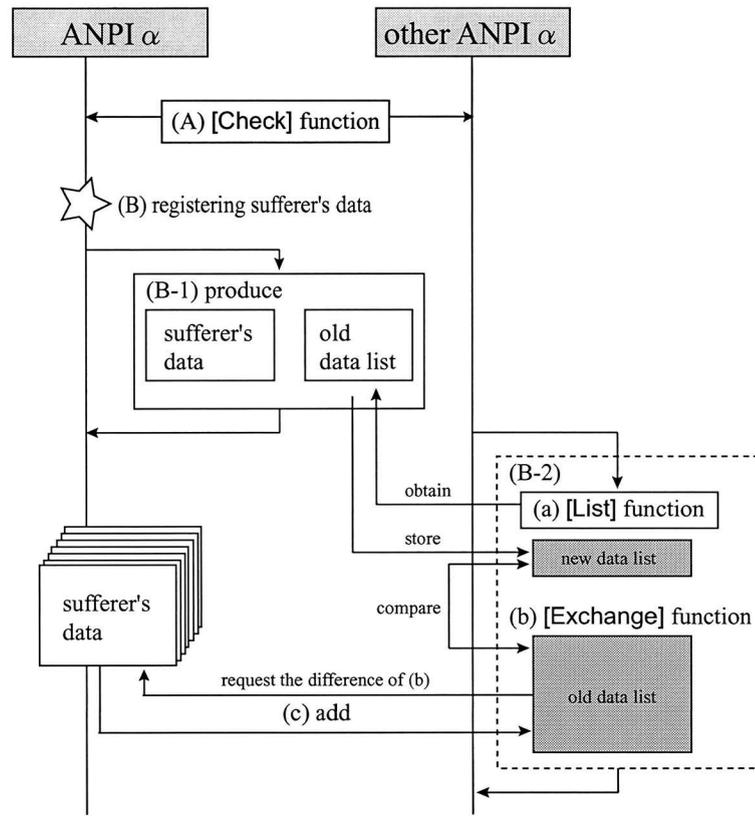


図 5.13 ADES の概要

Fig. 5.13 Outline of ADES function.

5.3.3.3 実験結果

図 5.14 は、平均生成間隔が 10sec のときの、安否情報データの交換完了数の推移を示す。横軸は計測が開始されてからの経過時間、縦軸は安否情報データの交換完了数を示す。5つの各ノードがそれぞれ 100 人分のデータを生成するので、最終的な交換完了数は 500 となる（5箇所の避難所で各 100 人ずつがデータ入力し、各避難所が合計 500 人分のデータを共有すると考える）。*ideal* は、安否情報データが生成されると同時に交換が完了したと仮定した場合のデータ（理想値）を示しており、PC1~PC5 は、各ノードにおける交換完了数を示している。図 5.14 は、平均生成間隔が 10sec で各ノードでの安否情報がすべて完了するのは、計測開始から約 1,000sec 後である。このときの *ideal* の交換完了数に対する PC1~PC5 の交換完了数の平均値の割合を安否情報データの交換完了率とすると、平均生成間隔

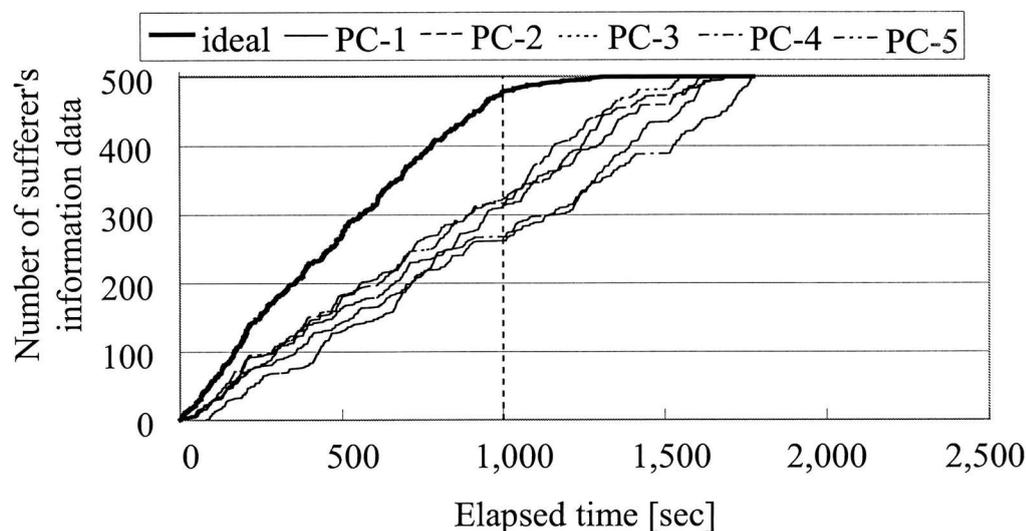


図 5.14 安否情報の交換完了数の推移 (平均生成間隔 : 10sec)

Fig. 5.14 Transition of exchange completed sufferer's information data for 100 data (in the case of 10sec).

10sec のときの交換完了率は約 60% であることがわかる。

図 5.15 は、平均生成間隔が 20sec の場合である。平均生成間隔 20sec のときの交換完了率は、ほぼ 100% であることがわかる。

図 5.16 は、計測を行った全 7 パターンの、安否情報データの交換完了率を示している。横軸は計測時の安否情報データの平均生成間隔を示し、縦軸はそれぞれの交換完了率を示す。これを見ると、平均生成間隔が 20sec 以上の場合は、交換完了率がほぼ 100% に近いことがわかる。

5.3.3.4 ADES へのモバイルエージェント導入効果

実験の結果、ADES には、安否情報の入力間隔が 20sec 以上であれば、遅延することなく安否情報データの交換を行うことができる性能があることがわかった。

図 5.14 に見られるようなデータ交換の遅延は、ネットワークの混雑による遅延ではなく、プログラム内部の割り込み処理の遅延によるものであると考えられる。市

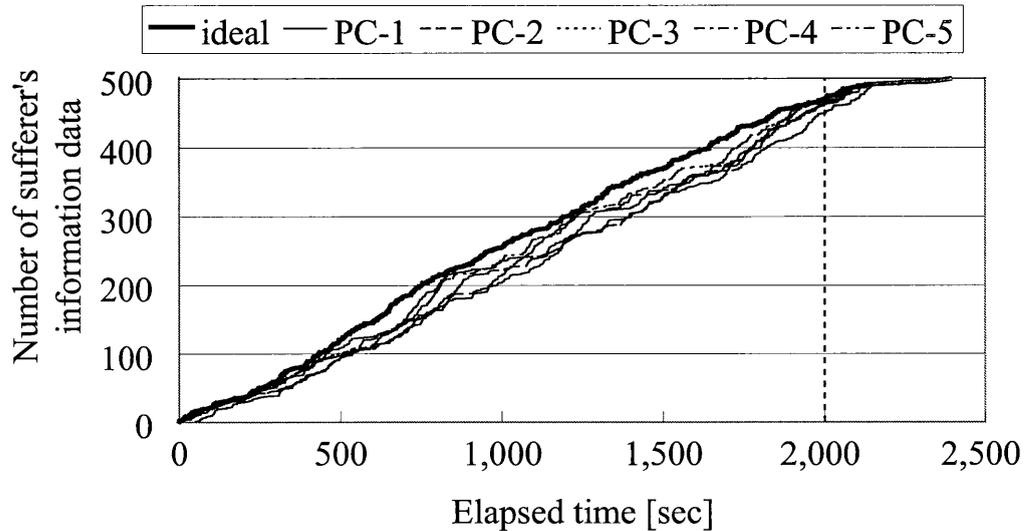


図 5.15 安否情報の交換完了数の推移 (平均生成間隔 : 20sec)

Fig. 5.15 Transition of exchange completed sufferer's information data for 100 data (in the case of 20sec).

街地での通信とは違い、今回の実験環境は見通しのよい無線ネットワークであるため、経路品質が悪いとは考えにくい。また送信するデータ数も1つあたり 32bytes と小さい。プログラム内部で、短時間でデータが連続生成される状況に、通信処理が追いつかなくなってしまうと考えられる。

本実験においては、ノード数は5、交換するデータ数は各ノードで100個というように条件が限定されている。実際の避難所数はこのノード数よりも多く、災害直後の避難所において安否情報データの入力間隔は短いものと予測できる。そのため、ネットワークのノード数が増加し、平均生成間隔が短い場合には、加速度的にネットワークが混雑し、安否情報データの交換に遅延が生じることが強く予測される。これは、各ノード間で安否情報データを共有するため、交換完了数が全ノードの安否情報データの総数となることが原因である。そこで、安否情報交換のアルゴリズム ADES にモバイルエージェントを導入すると次のように考えることができる。

まず、各ノードに存在する安否情報はターゲットと考えることができる。次に、ADES の動作の LIST 機能と EXCHANGE 機能をモバイルエージェントに付与することで、各ノード間で安否情報データを交換するのではなく、モバイルエージェ

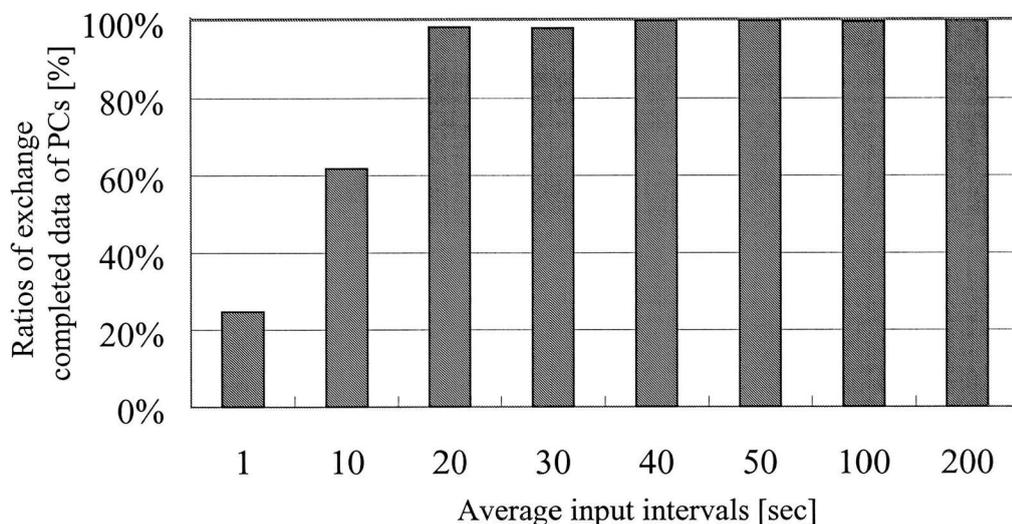


図 5.16 安否情報の交換完了率

Fig. 5.16 Transition of exchange completed sufferer's information data for 100 data.

ントが安否情報データを取得して各ノードを巡回し、各ノード上において必要な安否情報データをモバイルエージェントの保持するデータと交換する。このことにより、ネットワーク上で行われるノード間のデータ交換回数を減少させることができるため通信時間（通信コスト）への影響を減少させることができ、かつ、ノード上の割込み処理も減少させることができるためノード上の処理時間（処理コスト）への影響も減少させることができる。これらのことから、交換完了が終了するまでの時間（通信・処理コスト）を減少させることが期待できる。

一方、1個のモバイルエージェントが全安否情報データを取得することで、モバイルエージェントサイズが大きくなり、モバイルエージェント移動が通信変動の原因となることを防ぐために、サイズに応じてモバイルエージェント数を増減させることが出来る。

以上のことを踏まえて、計算機シミュレーションで得られた知見をADESに導入したモバイルエージェントに適応すると、必要な安否情報データがモバイルエージェントが訪れたノード上に存在する確率（ターゲット存在確率）を考慮したう

えでライフタイムとモバイルエージェント数を適切に決定することにより（例えば、ターゲット存在確率が未知の場合は、ライフタイムを短く設定し、モバイルエージェントを多めに準備する。また、ターゲット存在確率が大きい場合は、準備するモバイルエージェント数を考慮してライフタイムを決定する。）、すべてのモバイルエージェントの仕事の分担を平均化し、安否情報の交換完了が終了するまでの時間を短縮する効果を得ることができる。

5.3.4 まとめ

本節では、市街地に提案システムの独自の無線ネットワークの構築が可能かどうかの検証を行うため、無線通信のフィールド実験を行った。その結果、AB間の約1km、CD間の約500mの距離で、パケットサイズが小さい場合は快適に通信できることがわかった。

また、避難所間を想定した各避難所間で入力された安否情報を自律的に交換・共有するためのアルゴリズムを提案し、性能評価実験を実施した。その結果、ノードの場合安否情報の入力間隔が20sec以上であれば、遅延なく安否情報の交換・共有が可能であることがわかった。

5.4 本章のまとめと今後の課題

本章では、モバイルエージェントがサーバ間を移動中に通信環境の変動に与える影響について検討した。

一定のライフタイムとモバイルエージェントサイズの増加原因となるターゲット存在確率の2つ要因を計算機シミュレーションのパラメータとして与え、通信・処理コストが平均的になり、かつ使用するモバイルエージェント数が出来るだけ少なくなるように各モバイルエージェントの仕事の効率化を考えた。具体的には、通信・処理コスト、モバイルエージェント数、与えられたライフタイム内に巡回を終えることができなかつたモバイルエージェント数（ロス数）を調査することで、モバイルエージェントの巡回性質について議論した。

その結果、数百Mbpsの高速ネットワークでモバイルエージェントによる情報検索を行う場合は、ターゲット存在確率を考慮したうえでライフタイムとモバイルエージェント数を適切に決定する必要がある（例えば、ターゲット存在確率が未

知の場合は、ライフタイムを短く設定し、モバイルエージェントを多めに準備する。また、ターゲット存在確率が大きい場合は、準備するモバイルエージェント数を考慮してライフタイムを決定する。) , 逆に低速ネットワークでは、ターゲット存在確率によらずライフタイムを短く設定し、モバイルエージェント数を多めに準備することで情報検索の効率化が図れることを示した。

以上の計算機シミュレーション結果で得られた知見をもとに、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として、安否情報交換アプリケーションを取り上げた。得られた知見をADESに導入したモバイルエージェントに適応すると、必要な安否情報データがモバイルエージェントが訪れたノード上に存在する確率(ターゲット存在確率)を考慮したうえでライフタイムとモバイルエージェント数を適切に決定することにより、すべてのモバイルエージェントの仕事の分担を平均化し、安否情報の交換完了が終了するまでの時間を短縮する効果を得ることができることを提案することができた。

今後は、安否情報交換アプリケーションへのモバイルエージェント導入の実装を行いたい。そのためにも、計算機シミュレーションにおいて、現在は、各モバイルエージェントがそれぞれ1回の巡回で複数のターゲットを取得するモデルを想定しているが、1度取得したターゲットを巡回先で入力データとして扱うことができる2次検索などのような絞込み検索を行う機能、または、ターゲットの取得や放棄、置換など巡回先の要求に応じて変更できる機能など、現実的な複雑さを持つ機能を持つモデルを検討していきたいと考えている。また、現在は知能を持たないモバイルエージェントを考えているが、複数のモバイルエージェントを用いた情報検索の効率化をさらに向上させるためには、エージェント間の協調が必要である。しかし、知能と機動性にはトレードオフが生じる。すなわち、エージェントに知能をもたせると、知能のための処理プログラムのサイズ分だけ、モバイルエージェントのサイズが増加するため、本シミュレーション結果からも分かるように、移動する際に支障をきたす。小さなサイズのモバイルエージェントがネットワークを移動することに対してはそれほど問題はないが、大きなサイズのモバイルエージェントがネットワークを移動すると、ネットワークに負荷を与えてしまうことになるからである。これらを考察し、今後は位置固定エージェントとモバイルエージェントとの連携なども考慮した導入方式の検討も行いたいと考えている。

第6章 通信環境の変動がモバイルエージェントに与える影響調査とその評価

本章では、4.3.2で述べたとおり、通信環境の変動がモバイルエージェントの振舞いに与える影響について調査を行う。

6.1 変動する通信回線における巡回性質の調査実験

第2章で述べたモバイルエージェント機能のほか、モバイルエージェントはコンピュータ間の移動に失敗した場合、再びモバイルエージェントの移動を行うことができる再送機能を持つ。

本章では、これまで用いてきた情報検索システムに、低帯域幅で通信品質が変動する通信環境を与えたネットワークモデルを想定する。そして、モバイルエージェントの特徴の一つである再送機能に焦点をあて、変動する通信環境におけるモバイルエージェント導入評価のための実験を計算機シミュレーションにより実施し、サーバへの巡回に要した移動回数の振舞いを調査する。

ここで、移動回数が増加すれば、ネットワークに負荷がかかる。また、新たにモバイルエージェントを生成すれば、エージェント数の増加により、ネットワークに負荷がかかる。そのため、モバイルエージェントの効率的なふるまいとして、移動回数をできるだけ少なくし、巡回を終えることができ、かつ、モバイルエージェント数が少ない場合を効率化が出来たと考える。

6.1.1 モバイルエージェント導入効果

変動する通信環境へモバイルエージェントを導入する利点を以下に示す。先に述べた事柄もあるが、導入効果を確認するために、再掲する。

通信トラフィックの削減や通信回数・遅延の低減化 モバイルエージェントとして実現された分散処理プログラムを移動先のサーバへ移動し、処理を行うことにより、サーバ間で行われていた通信を1つのコンピュータ内のプログラム間通信に局所化することができる。

再送機能 モバイルエージェントが任意のサーバまたはユーザ端末への移動を失敗した場合、新たなモバイルエージェントを生成するのではなく、移動前のサーバまたはユーザ端末において再送間隔（モバイルエージェントが再送を行うまでの待機時間）分待機し、再びモバイルエージェントの移動を行う。したがって、モバイルエージェントがサーバを移動するのに必要なモバイルエージェント数は減少する。

ライフタイムの設定 モバイルエージェントは、ライフタイム（モバイルエージェントが生成し、消滅するまでに要する時間）を持つことにより、モバイルエージェントが不意なネットワーク回線切断などでライフタイム内にユーザの下へ帰着できない場合、そのモバイルエージェントは消滅する。したがって、不要なモバイルエージェントを半永久的に存在させることを防止する。

以上のことよりモバイルエージェントは、通信品質が変動する通信環境でもネットワーク通信を実現する有効な手段となるといえる。

6.1.2 パラメータの設定

本実験で用いる計算機シミュレーション用ネットワークモデルは、多くのモバイルエージェントシステム研究で引用されている *Strasser* らのネットワークモデル^[47] を基にした (図 6.1)。これは、2つの異なるネットワーク環境から成り立つ。 *Network1* に存在するモバイルコンピュータや PDA などの遠隔情報端末を想定したユーザ端末（基地局）において生成されたモバイルエージェントが、ネットワーク伝送速度やネットワーク遅延時間の異なる *Network2* に存在する検索対象のサーバ（移動基地局）へ移動し、チケットに記述されている全ての移動基地局を巡回して基地局へ帰着後、消滅する。ただし、本実験で用いるモバイルエージェントは、各移動基地局にある情報（ターゲットデータ）を取得する最小限の機能

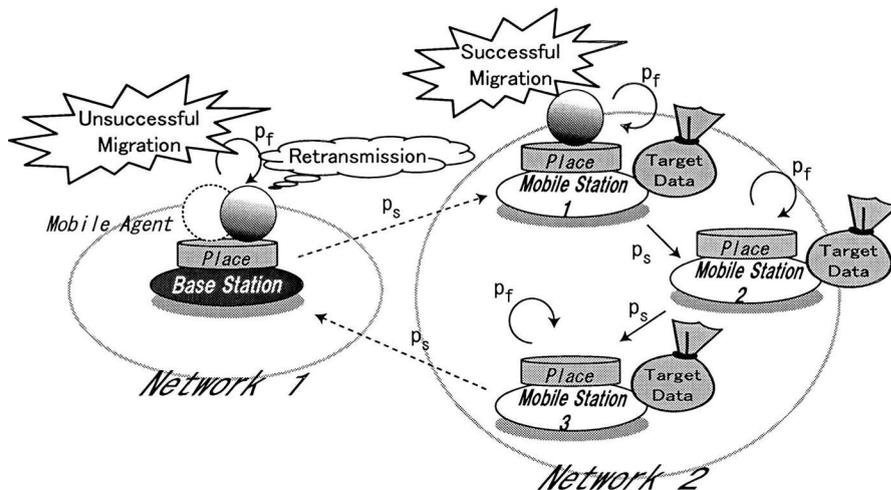
図 6.1 モバイルエージェントネットワークモデル^[47]

Fig. 6.1 Mobile agent network model.

を持つ。また、モバイルエージェントの移動の場であるプレース (*Place*) は、基地局や移動基地局に事前に配置する。

通信品質が不安定な通信環境では、スループットの低下、パケット損失確率の増加、伝送遅延の増加などが生じる。このような通信環境を想定するため、移動基地局間において通信帯域幅を減少させるパケットを発生させ、ネットワーク負荷を増加させる。また、基地局や移動基地局のビジュー状態や建物等の遮蔽物によるネットワークを遮断する通信障害として、パケット損失を想定するため、モバイルエージェントが移動失敗する確率 (回線切断確率: P_f) およびモバイルエージェントが移動成功する確率 ($P_s = 1 - P_f$) を与える。

以上のパラメータを与えたネットワークモデルを図 6.2 に示す。

6.1.3 シミュレーション概要

本ネットワークモデルは、通信遅延が生じる不安定な通信環境を想定しているため、リアルタイムではなく制約時間内での情報検索を行なう。このため、ユーザが設定する制約時間として情報取得間隔と情報取得回数を与える。情報取得間隔は、基地局で生成されたモバイルエージェントが全移動基地局を巡回後、基地局へターゲットデータを受け渡すまでの最大時間である。これを情報取得回数とし

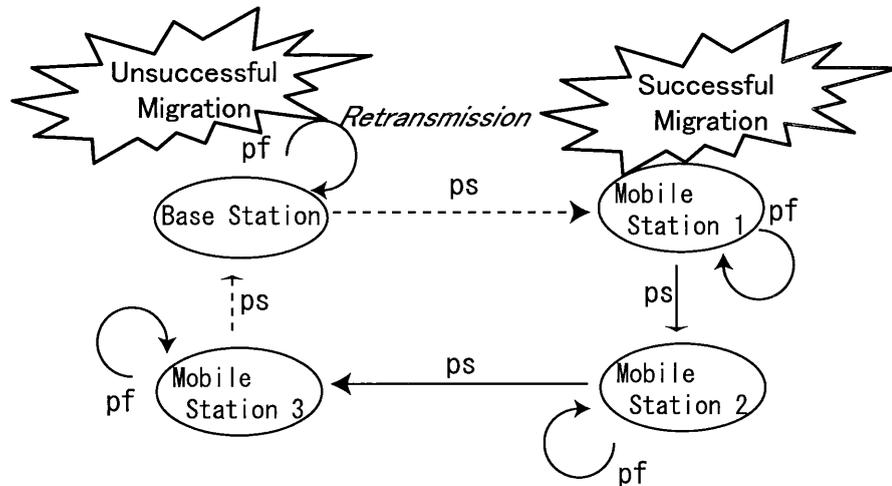


図 6.2 モバイルエージェントネットワークモデル (移動基地局が 3 局の場合)

Fig. 6.2 Mobile agent network model(3 Mobile stations).

て指定された回数だけ繰り返す。ただし、情報取得間隔内にモバイルエージェントが基地局へ帰着できなかった場合は、その情報取得間隔として与えられた時間内の情報検索は失敗したとみなす。これらのことから、ユーザが与える仕事の完了時間は、情報取得間隔と情報取得回数の乗算で表現できる。

本ネットワークモデルにおいて、再送機能を持つモバイルエージェントに対して以下に示す動作手順を与える。ここでは、モバイルエージェントが基地局で生成されてから経過した時間を移動時間と呼ぶことにする。

1. モバイルエージェントに固定したパラメータ値（再送間隔、ライフタイム、情報取得間隔、情報取得回数）を設定する。
2. 基地局において全移動基地局を移動する巡回順を決定し、モバイルエージェントを生成した後、移動基地局へ移動を開始する。
3. 移動時間が情報取得間隔に達するまで、次の手順を繰り返す。
 - a. モバイルエージェントが全移動基地局を巡回し基地局へ帰着した場合、モバイルエージェントは消滅を行い、次の情報取得間隔まで待機し、(4)の手順へ進む。

- b. モバイルエージェントが移動失敗した場合（回線切断確率 P_f ），移動前の基地局または移動基地局において再送間隔分待機し，再びモバイルエージェント移動を開始する。
 - c. 移動時間がライフタイムに達した場合，モバイルエージェントは消滅し，基地局において新たにモバイルエージェントを生成し，移動を開始する。
 - d. 移動時間が情報取得間隔に達した場合，モバイルエージェントは消滅し，(4) の手順へ進む。
4. 次の情報取得間隔へ移行し，情報取得回数に達するまで (2) から (4) を繰り返す。

6.1.4 移動回数に着目した評価実験概要

6.1.4.1 評価実験概要

本実験では，現実のネットワークに近い計算機シミュレーションを実現できることで定評があるネットワークシミュレータ *NS-2* (*Network Simulator version 2*) [46] を用いる。また，*NS-2* でモバイルエージェントシステムを実装するために，文献 [7] のシステムを基に作られたモバイルエージェントのモジュール [48] を *NS-2* に導入する。この *NS-2* を用い，6.1.2 で定義したネットワークモデルに対して，モバイルエージェントが巡回するのに要した移動回数に着目した実験的評価を行う。

ネットワークモデルに設定した計算機シミュレーション用パラメータを表 6.1, 表 6.2 に示す。ここで，基地局と移動基地局は異なるネットワーク環境に存在し，安定した高速回線が利用できない場合を想定しているため，その間のネットワーク伝送速度は遅く，遅延時間は大きくなるように設定する。通信環境の変化によるモバイルエージェントの振舞いを調べるため，回線切断確率を 0% から 90% の範囲で与える。基準となる再送間隔は，全移動基地局を巡回するのに必要な時間を事前に測定し，サーバ数（基地局数と移動基地局数の合計）で除算し，モバイルエージェントが 2 局間を移動するのに必要な平均時間（3sec）として与える。評価実験では，基準となる再送間隔とその 1/2 倍した値（1.5sec）および 2 倍した値（6sec）の合計 3 種類を用いる。

表 6.1 変動するネットワークモデルの条件

Table 6.1 Conditions for unstable network model.

Network throughput	50 kbps (Between <i>Network1</i> and <i>Network2</i>) 400 kbps (In <i>Network2</i>)
Network delay	120 ms (Between <i>Network1</i> and <i>Network2</i>) 10 ms (In <i>Network2</i>)
Mobile Station	15 stations
Line cutting probability	0%~90% (count by 10%)
Back traffic	
Packet size	1 kbyte (In <i>Network2</i>)
Interval	0.001 sec (In <i>Network2</i>)

まず、以下に示す条件 1, 条件 2 に従い、再送間隔と変動する通信環境の度合いである回線切断確率を変化させ、モバイルエージェントが情報取得間隔内に全移動基地局を巡回できた（巡回可能）か、巡回できなかつた（巡回不可能）かについて調査を行う。次に、そのときの各情報取得間隔で要した移動回数の平均値である平均移動回数について調査を行う。特に条件 2 では、情報取得間隔内において最大 6 個のモバイルエージェントを生成することができるため、全移動基地局を巡回するために生成されたモバイルエージェント数（モバイルエージェント生成数）についても調査を行う。

【条件 1】 情報取得間隔内にモバイルエージェント生成を 1 回行う場合 情報取得間隔内に生成できるモバイルエージェント生成数を 1 個に限定した場合について調査する。（情報取得間隔とライフタイムを同値に設定）

【条件 2】 情報取得間隔内にモバイルエージェント生成を最大 6 回行う場合 情報取得間隔内に生成できるモバイルエージェント生成数を 6 個にした場合について調査する。（情報取得間隔をライフタイムの 6 倍（600sec）に設定）

表 6.2 再送機能を持つモバイルエージェントの条件

Table 6.2 Conditions for mobile agent with retransmissions.

Code size	10 kbyte
Data size	100 byte
State size	5 kbyte
Target data size	5 kbyte
Creation time	0 sec
Disposing time	0 sec
Processing time	0 sec
Retransmission period	1.5 sec, 3 sec, 6 sec
Lifetime	100 sec
Information acquisition period	100 sec (Condition 1) 600 sec (Condition 2)
Information acquisition times	10 times

6.1.5 シミュレーション結果

条件1, 条件2に従い, 再送間隔とネットワークの回線切断確率を変化させたときの各情報取得間隔で要した移動回数の平均値である平均移動回数の結果を図 6.3, 図 6.4 に示す. 横軸は回線切断確率, 縦軸は平均移動回数を示す. また, モバイルエージェントが巡回可能な場合は黒丸, 巡回不可能な場合は白丸で示す. ただし, モバイルエージェントが巡回不可能な場合は, 情報取得間隔内に移動できた移動基地局までの平均移動回数とする. なお, 移動回数のスケールが違う理由は, 図 6.4 は条件2に従うため, 生成された各モバイルエージェントの平均移動回数を累積しているためである.

6.1.5.1 移動回数に着目した場合

図 6.3, 図 6.4 より, 再送間隔が短い方が, 巡回可能な回線切断確率が高いことが分かる. 巡回可能な場合に着目すると, 条件1, 条件2において, 各再送間隔とも回線切断確率が増加するにつれて, 平均移動回数は増加する. しかし, 巡回不可能な場合に着目すると, 条件1, 条件2において, 平均移動回数は再送間隔が 1.5sec の場合は増加, 6sec の場合は減少, そして 3sec の場合は, ほぼ一定した値

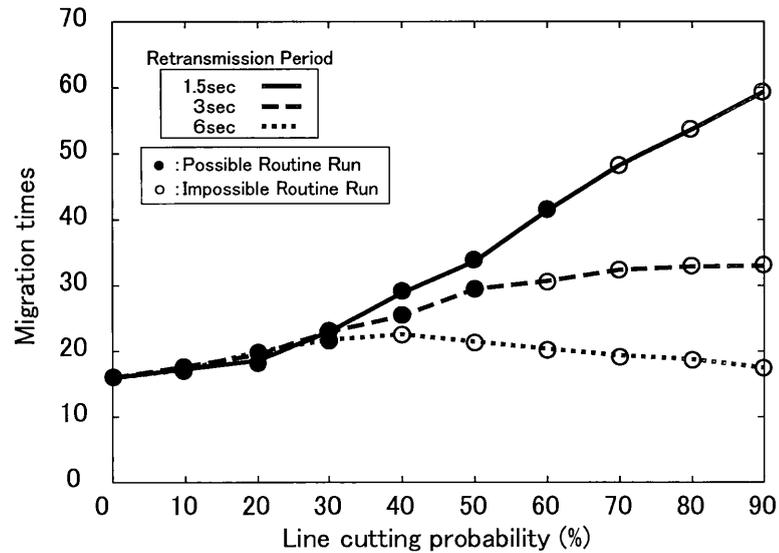


図 6.3 平均移動回数 (条件 1)

Fig. 6.3 Average number of mobile agent migration (condition1).

である。このように再送間隔によって平均移動回数の増減が異なっている。

また、モバイルエージェント生成数に着目すると、条件 1 より、モバイルエージェントを 1 個生成する場合は、再送間隔が長い方が移動回数は少ない。これは、再送間隔が長い方が、モバイルエージェントが移動を失敗したときに行われる再送の実行回数が少ないからである。条件 2 より、モバイルエージェントを複数個生成する場合は、巡回可能であるとき、再送間隔が短い方が、移動回数が少ない。これは、再送間隔が短い方が、情報取得間隔内に生成されるモバイルエージェント数が少ないためである。しかし、巡回不可能な場合、再送間隔が長い方が、移動回数が少ない。これは再送間隔が長い方が、モバイルエージェントが移動失敗したときに行われる再送の実行回数が少ないためである。

したがって、モバイルエージェントを 1 個生成する場合、回線切断確率が高い場合は、再送間隔が長い方が、移動回数が少ない。一方、モバイルエージェントを複数個生成する場合、全移動基地局をモバイルエージェントが巡回可能か否かによって、モバイルエージェントに与える再送間隔を使い分ける必要があることがわかる。

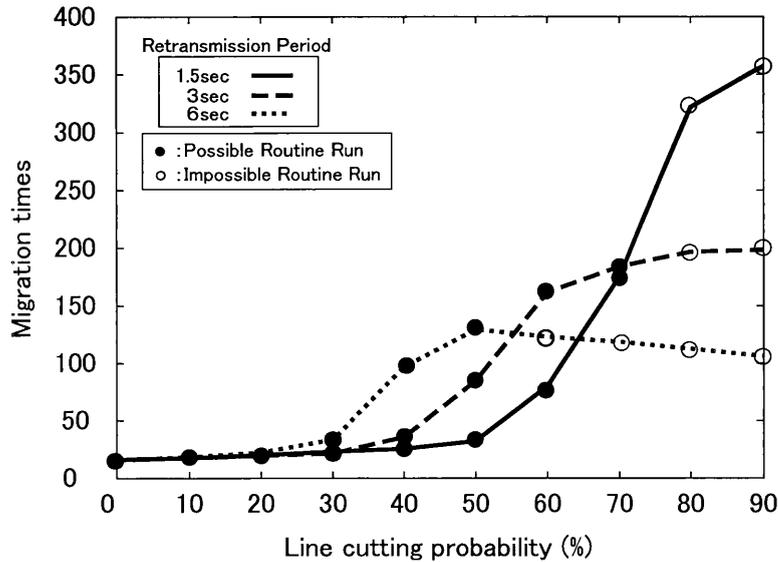


図 6.4 平均移動回数 (条件 2)

Fig. 6.4 Average number of mobile agent migration (condition2).

6.1.5.2 モバイルエージェント数に着目した場合

図 6.5 より、各再送間隔とも回線切断確率が増加するにつれて、平均モバイルエージェント生成数は増加する。しかし、再送間隔が短い方が、回線切断確率が増加しても少ない平均モバイルエージェント生成数で巡回可能なことが分かる。これは、再送間隔が短い方が、モバイルエージェントが移動失敗したときに行われる再送の実行回数が多いため、ライフタイムを超えずに巡回可能であるからである。

また図 6.3、図 6.4 より、条件 1、条件 2 における巡回可能な回線切断確率は、再送間隔が 3sec の場合に着目すると、50% から 70% へと 20% 増加することがわかる。このように、モバイルエージェントを複数個生成する場合の方が、回線切断確率が高い場合でも巡回可能となることが分かる。

6.1.5.3 再送機能を持つモバイルエージェントが巡回に与える影響

実験結果に基づいて、再送間隔およびモバイルエージェント生成数に着目して、変動する通信環境がモバイルエージェントの巡回に与える影響について実験的な考察を与える。本評価実験では、回線切断確率が高い場合をより変動する通信環境であるとしているため、変動の度合いを回線切断確率として表現する。

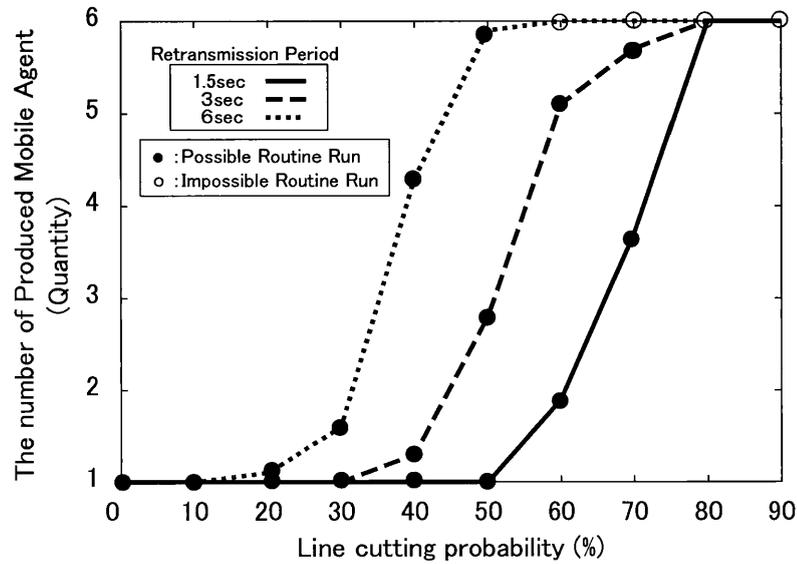


図 6.5 平均モバイルエージェント生成数

Fig. 6.5 Average number of mobile agent creation (condition2).

回線切断確率が高い場合に注目する。短い再送間隔を持つモバイルエージェントの方が、全移動基地局を巡回可能となる。これは、再送間隔が短い方が、モバイルエージェントが移動を失敗したときに行われる再送の実行回数が多いためである。また、複数個のモバイルエージェントを生成できる方が、全移動基地局を巡回可能となる。これは、情報取得間隔内に生成されるモバイルエージェントの個数を増加することにより、実行回数とチャレンジ回数とを増やすことができるためである。すなわち、回線切断確率が高い場合には、モバイルエージェントの再送機能が持つ再送間隔を短く設定し、ユーザが指定した情報取得間隔内にモバイルエージェントを複数個生成できるように、情報取得間隔とライフタイムを設定した方が得策であるといえる。

本実験結果より、通信品質が不安定な通信環境における再送機能を持つ最適なモバイルエージェントを次のように考えた。

- 再送回数も含めた移動回数が少ないモバイルエージェント
- モバイルエージェント生成数が少ないモバイルエージェント

通信品質が不安定な通信環境で、モバイルエージェントを1個生成する場合を

考える。再送間隔が短い場合は、全移動基地局を巡回可能であるが、移動回数が多くなる。一方、再送間隔が長い場合は、移動回数は少ないが、全移動基地局を巡回しにくくなる。したがって、再送間隔として2局間の移動する平均時間を与えることで、全移動基地局を巡回しやすく、再送回数も含めた移動回数が少なくなる。

次に、通信品質が不安定な通信環境で、モバイルエージェントを複数個生成する場合を考える。再送間隔の長短による、全移動基地局の巡回のしやすさは、モバイルエージェントを1個生成した場合と同様な結果が得られた。モバイルエージェント生成数は、再送間隔が短い場合は少なくてもすむが、再送間隔が長い場合はモバイルエージェント生成数が多くなる問題が生じた。

したがって、再送間隔を2局間を移動する平均時間を与えることで、全移動基地局を巡回しやすいといえる。さらに、この再送間隔を与えた際には、移動回数が少なく、モバイルエージェント生成数が少なくてもすむ。

以上のように、再送機能を付与したモバイルエージェントを導入する際には、モバイルエージェントが移動する通信環境の変動を考慮した上で、再送間隔を決定し、モバイルエージェント生成数を決定することにより、情報検索の効率を高めることができると言える。

6.1.6 まとめ

通信品質が変動する通信環境における遠隔情報検索システムをモデルとし、ネットワーク上で全移動基地局からターゲットデータを取得する際の再送機能を持つモバイルエージェントの性能を再送間隔に着目して調査した。本モデルは、通信遅延が生じる変動する通信環境を想定しているため、リアルタイムではなく制約時間内での情報検索を行うことから、モバイルエージェントの再送機能のためのパラメータだけではなく、ユーザが設定する制約時間（仕事の完了時間）として情報取得間隔と情報取得回数のパラメータを与えた。

その結果、変動する通信環境下では、モバイルエージェントの生成数を増やした方が、再送を試みる回数も増加するため、より通信品質が悪い通信環境においても、巡回が成功することが分かった。適切な再送間隔は、2局間を移動する平均時間に設定することが適していることも分かった。しかし、モバイルエージェントの生成数を増加させることで、より通信品質の悪い通信環境においても巡回が

成功するようになるが、生成数分だけ巡回に必要なであった基地局間の移動回数も増加するため、サーバや通信環境に対する輻輳を助長する可能性が高くなることも考えられる。

したがって、変動する通信環境下では、モバイルエージェントに最適な再送間隔を設定し、モバイルエージェント生成数を増加させることにより、巡回が成功する確率が高くなるため、全体的な情報検索の効率を上げることができるといえる。

今後、全移動基地局を巡回するのに必要な移動回数やモバイルエージェント生成数に関する理論式を導出し、これらの値を事前に見積もれるようにしたい。このことにより、ユーザが事前にモバイルエージェントに最適な再送間隔を与えることができ、不要なモバイルエージェントを生成しなくても済む。さらに、モバイルエージェントが巡回可能か否かを事前にも知ることも出来るため、移動回数や生成数に関する理論式に留意し、変動する通信環境下において、再送機能を持つモバイルエージェントが巡回で生じる問題について計算機シミュレーションと理論の両面からの議論も行いたいと考えている。

6.2 小型船舶の対象安心ネットワークアプリケーションへのモバイルエージェント導入の提案

海上における無線ネットワークのような通信品質が常に変動する通信環境において、回線障害を補う手段としてモバイルエージェントを導入し、そのモバイルエージェントが小型船舶を含めた基地局間を移動し、情報（ターゲット）交換を行うことを提案する。

調査実験では、通信品質が変動する通信環境を想定しているため、通信環境の変動によりモバイルエージェントが移動失敗する確率として、回線切断確率を与えた。一方、モバイルエージェントには、その特徴の一つである再送機能（再送間隔など）を与えた。これにより移動に失敗した場合でも、新たなモバイルエージェントの生成を抑えることができる。ライフタイムとターゲット存在確率は一定とし、回線切断確率と再送間隔の2つのパラメータを変動させて、計算機シミュレーションを実施した。その結果、通信品質が変動する通信環境では、モバイルエージェントの生成数を増やした方が、再送を試みる回数も増加するため、巡回が成功することが分かった。適切な再送間隔は、2局間を移動する平均時間に設定

することが適していることも分かった。したがって、通信品質が変動する通信環境では、モバイルエージェントに最適な再送間隔を設定し、モバイルエージェント生成数を増加させることにより、巡回が成功する確率が高くなるため、全体的として情報検索の効率化につながることを指摘した。

この知見をもとに、本章では、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として、小型船舶対象の安心ネットワークアプリケーションを取り上げる。

モバイルエージェント導入による効果が期待できるか否かを判断するための評価を行うため、次の実験を行った。

1. 海上において無線ネットワークを構築するため通信品質の調査を実施
2. 小型船舶対象の安心ネットワークを想定した動作（小型船舶-陸上間での情報交換動作）へのモバイルエージェント導入効果の調査を実施

6.2.1 アプリケーション概要

6.2.1.1 小型船舶の通信手段確保の重要性

海上保安庁の自己救命策確保キャンペーンにおいて、(1) ライフジャケットの常時着用、(2) 連絡手段の確保、(3) 118番^[49]の有効活用の3つの実施を呼びかけている。このことから通信手段の確保は重要であることがわかる。小型船舶の主な通信手段を表6.3に示す^[50,51]。小型船舶は通信機器の搭載が義務化されていないため、各種の通信手段が存在する。現在、最も多く利用されているのは携帯電話であり、陸上における普及率の増加とともに、その手軽さから海上の通信手段としても普及している。衛星電話は通話可能範囲が広範囲にわたるが通話料金が高額であることや、アマチュア無線やマリンVHFは一つの情報発信に対して多数の人がワッチ（注意を払うこと）可能であるが、免許必要で新たな設備投資を行う必要があるため、手軽に利用できるとは言い難い。

6.2.1.2 海難防止を目的とした小型船舶向けサービスの種類

海上における通信手段として最も利用されている携帯電話は、携帯電話インターネット接続機能を利用した情報コンテンツの利用や電子メールの利用も可能なた

表 6.3 小型船舶における主な通信手段

Table 6.3 Main communication tools of a small craft.

Communication tool	license	installation cost	receiver	coverage
cellular phone	×	low	one	about 8km
satellite phone	×	high	one	adjacent sea
ham radio	○	middle	many	depend frequency band
marine VHF	○	high	many	10km-30km

め、次に示すような海難防止を目的とした小型船舶向けのサービスが多く存在する。海難や事故などを起こしたときの緊急連絡先として最寄の海上保安部へ繋がる118番通報がある。また、各海上保安部は情報不足を起因とする海難の未然防止や死亡・行方不明者の減少を目指して沿岸域情報提供システム（MICS ; Maritime Information and Communication System）^[52]を運用し、情報提供を行っている。海道の旅（マリンロード）^[53]は、出入港進路の安全確保や推奨ルートの設定、安全情報や利便情報の提供、さらに、海難に遭遇した場合には民間救助機関等による迅速な救助を可能とするネットワークの構築を行っている。商用のGPS携帯用コンテンツの緊急通報サービス「海ざんまい」^[54]は、海上からの緊急通報を受信すると、センターにて通報者の位置を確認し、関係機関へ通報を行っている。他にも、文献[55]では、電話ネットワークを介した船舶運航監視を含む小型船舶遠隔安全管理システムを開発している。文献[56]では、船舶に携帯電話の基地局を備えることにより、携帯電話の通話可能範囲の拡大や海難捜査の拡大を可能にしている。

6.2.1.3 海上無線 LAN を用いた安心サービス提供のシナリオ

6.2.1.2. で述べたように携帯電話は、普及率の点から手軽に利用可能であるが、緊急時に自らの情報発信が必要であり、電話番号を知っている相手にしか連絡ができない。そのため、これらの携帯電話の欠点を補い、携帯電話の後方支援的な役目を担うために、海上無線 LAN を利用した安心ネットワークを提案する(図 6.6)。提案する安心ネットワークサービスは次のような特徴をもつ。

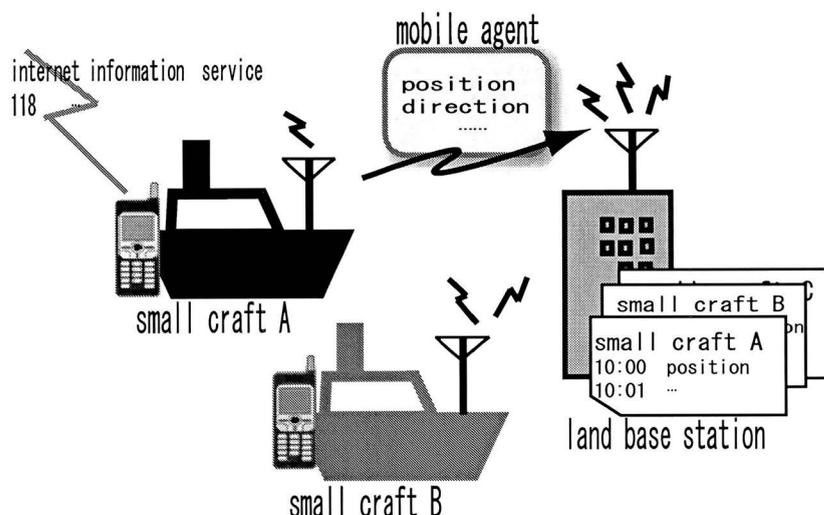


図 6.6 小型船舶対象の安心ネットワーク

Fig. 6.6 Configuration of network system for navigating small craft with safety.

- 陸上の専門家が特定船の位置把握やログブックなどの情報監視を行うことにより海難への推察や即時対応が可能
- 情報交換をモバイルエージェントが船長代理で行うので、無意識にサービス受用が可能
- 各船で得られた情報などを共有，情報交換が可能
- 免許不要でネットワークの利用が可能

6.2.1.4 導入目的

近年小型船舶操縦士の免許保有者の増加に伴い，遊漁船やプレジャーボートのような小型船舶の海難事故は増加傾向にある．海上保安庁の統計によると，要救助海難のうち3分の2が小型船舶であり，小型船舶の航海の安全対策が重要な課題となっている [57]．この発生原因は，

1. 手軽に免許取得可能で、船長が経験不足の場合が多いため、操船不適切等の運行の過誤や機関取扱不良が多いこと

2. 海上は目標物が少ないため、救助を求める際にも自船の位置が分からなくなる場合が多いこと
3. 主な通信手段である携帯電話は自ら情報発信・取得を行う必要があるため、突然の転覆事故や気象状況変化に対応できないことが多いこと
4. 大型船のように法律で定められた共通回線がないため、近場にいる他船への救助連絡を行うことや他船からの緊急連絡を受け取ることが出来ないことが多いこと

などが挙げられる。このような原因による海難事故の防止や事故後の迅速な対応は、“経験”，“判断”，そして“共通連絡手段の確保”が重要となる。小型船舶はその船体特徴から、海難が人命の損傷に結びつく恐れが大きいため、これらを補うことが出来れば、経験不足の船長でも安心して航海することができる。一方、現在、屋内外で無線 LAN インターネット接続の実証実験が盛んに行われている^[58-60]。スペクトル拡散技術を用いた 2.4GHz 帯を利用する無線 LAN は、他の無線通信と違い免許不要で使用でき、安価に提供できる特徴をもっているが、海上における船間や陸船間での情報交換として無線 LAN の実用化には至っていない。しかしながら、瀬戸内海の様な沿岸や島が隣接している海域であれば、無線 LAN 基地局を設置し、海上でも容易に無線 LAN を構築することができる。すでに、比較的大きな船と陸上基地局の 2 点間の通信実験及び実用化は行われているが^[61,62]、小型船舶を用いたものではなく、回線品質などの確認も行われていない。そこで、本研究では沿岸を航行する小型船舶を対象とした経験不足の船長でも安心して航海できるための、海上無線 LAN を利用した安心ネットワークを提案する。本研究では、まず山口県屋代島にある本校（大島商船高等専門学校）からは瀬戸内海の特徴である多島景観が見られるため、この学校周辺海域に実験用ネットワークを構築し、この海域で安心ネットワークの情報基盤となる無線 LAN の接続環境調査の基礎実験を実施し、その評価を行った。実験結果より、海上無線環境下において、気象条件の変化や通行船が障害物となることによって、通信品質の劣化および通信回線の切断が生じることが分かった。この問題を解決するため、不意な回線切断時に自動的に新たな通信経路を確立し、通信を継続することができるモバイルエージェント技術^[63-66]の導入を考える。従来の Client/Server 方式（主に RPC : Remote Procedure Call, 遠隔手続き呼び出し）でデータの受け渡しをしていたのでは、そ

のデータ処理の間は回線切断をすることができず、ネットワークの伝搬遅延や不意な回線切断には対応できない。このような場合は、処理を行うプログラム自体をサーバに送り込めば、回線障害に対しても柔軟に対応することができる。モバイルエージェント技術はこのような処理を可能にする。さらに、これは代理人として動作することができるため、コンピュータに不慣れな船長でも安心して本システムを利用することができる。そこで本節では、海上において実際にモバイルエージェントを用いた通信実験を行って基礎データを収集し、モバイルエージェント導入によって回線障害を補うことができることを確認したので、これについても報告する。

6.2.2 海上無線 LAN の通信品質の変動調査

安心サービスを提供するための無線 LAN を構築するために、以下に示す 2 つの基礎実験を行った。なお、小型船舶は本校実習船である FRP 船を用いた。

1. 小型船舶を含む海上における無線 LAN の構築実験
2. 通行船の横断による通信切断への影響調査

ネットワークの通信品質状態を表す一つの指標として、ping コマンドによる応答時間の変化を測定した。

6.2.2.1 本調査実験の目的

6.2.2.2 海上無線 LAN 構成と使用機器構成

山口県大島瀬戸周辺を実験海域とした各基地局の位置関係を図 6.7 に示す。停泊中の本校練習船大島丸(大島町)(point1)、笠佐島海岸(大島町)(point2)、海岸(大島町)(point3)、大島町(point4)を陸上基地局として接続する構成である。無線 LAN では対向するアンテナ同士が見通せることが前提であるため、地理的条件を考慮した設置場所選定を行った。ただし、無線ルータの中継機能を確認するために point1 と point3 間は崖で見通せない場所を選定した。図 6.8 にアンテナ設置例を示す(上側は小型船舶基地局の設置例、下側は陸上基地局の設置例)。小型船舶は、その船体特徴からたえず海からの環境変化を受けやすく、上下左右方向の揺れが生じるため、アンテナの方向が定まらないことを事前に確認した。そのため、実験用ア

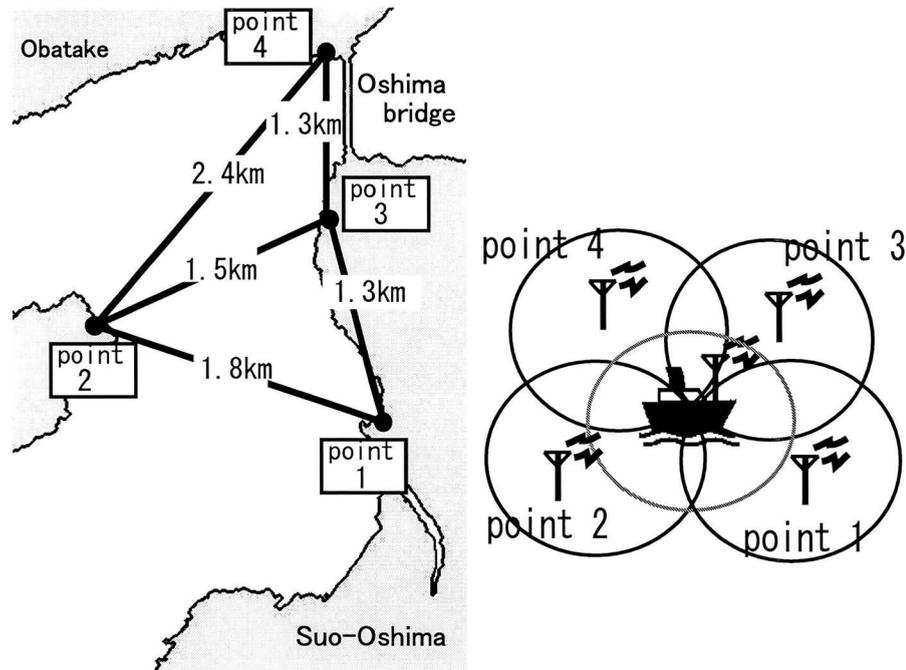


図 6.7 実験海域の配置図

Fig. 6.7 Sea area for experiments.

アンテナは、無指向性アンテナである 3dBi コリニアアンテナ (水平面無指向性, 垂直面半値角 23 度) を使用した。また、現在、無線ルータとしては、IEEE802.11 系規格を採用したものが広く普及している。同規格は、近距離における無線 LAN を構築することを主眼において規格化されたものとなっている。そのため、最大送信電力の制限により、無指向性アンテナと組み合わせて同規格を使用した場合の最大伝送距離は 1 km 未満となり、沿岸を航行する小型船舶間をネットワークで接続する際に、無線機器として IEEE802.11 系無線ルータを用いることは十分に機能するとは考えにくいといえる。そこで、本実験用無線ルータは、RTB2400(ルート(株)製)^[67]を使用した。この無線ルータは、5.3.2. 表 5.3 と同一仕様である。本無線ルータは、無線部に無線 LAN システム標準規格^[68]を採用していること、通信方式に現在のインターネットにおけるデファクトスタンダードとなっている TCP/IP を使用できること、無指向性のアンテナと組み合わせて使用した場合に

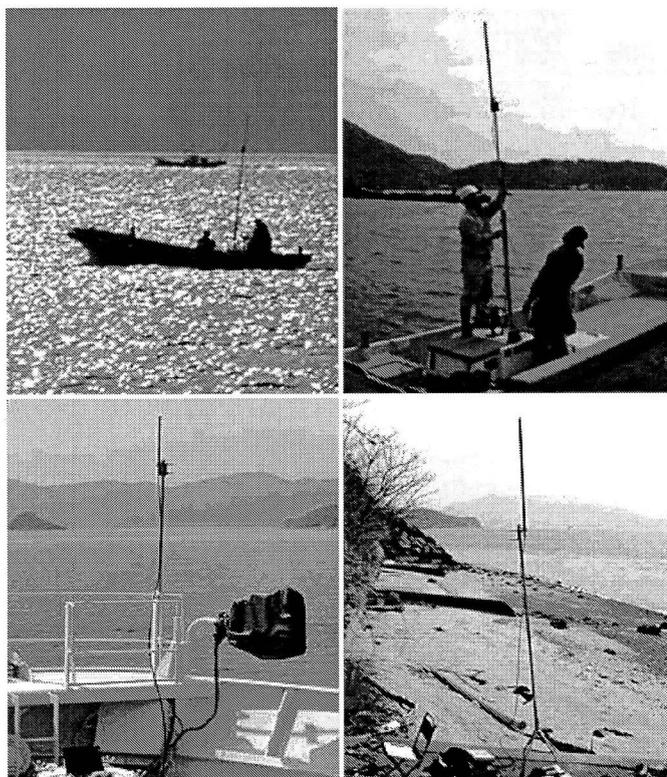


図 6.8 アンテナ設置例

Fig. 6.8 Example of antenna installation.

も最長 5km の伝送が可能であること、実効速度が 500k から 700kbps であることなどの理由からこの無線ルータを使用した。また、IEEE 規格でなければならない理由が生じれば、IEEE 規格の無線ルータと混在するネットワーク構築を行うことで解消できると考えている。

6.2.2.3 調査方法

平成 15 年 3 月 28 日 (平均気温 14℃, 風速 2m/s), 海上における無線 LAN 構築の基礎実験を行った。

6.2.2.4 陸上基地局間の応答時間測定

陸上基地局間において ping(Windows におけるデフォルト 32bytes) を 50 回連続して実行し、応答時間を測定した。パケットロスは、指定した時間内(1,000ms)に

表 6.4 陸上基地局間の応答時間測定

Table 6.4 Response time from each land base station (each point).

point	max(ms)	min(ms)	average(ms)	loss(%)
1 ↑ 2	372	20	128	0
2 ↑ 1	410	40	174	0
1 ↑ 3	474	153	245	0
3 ↑ 1	689	346	448	0
1 ↑ 4	626	329	419	0
4 ↑ 1	622	305	397	4
2 ↑ 3	441	140	230	0
3 ↑ 2	335	99	190	0
2 ↑ 4	390	30	27	82
4 ↑ 2	310	78	171	0
3 ↑ 4	383	20	122	0
4 ↑ 3	261	20	109	0

応答が無かった割合である。表 6.4 より、海を挟んだ陸上基地局の各 4カ所における通信状況は、最大応答時間と最小応答時間の差が大きく不安定であり、非対称であることがわかる。これは、アンテナが低いため、海面からのマルチパス障害を含むためだと考えられる [60]。以下、各 point を班と呼ぶ。2-4 班間はパケットロスが生じている。この区間は、船舶の航路であるため、通信中に船舶が障害物となりパケットロスが生じたためである。1-4 班間、1-3 班間は見通せない場所にアンテナを設置しているため、2 班を経由した応答時間が測定された。本実験で利用している無線ルータは、自動中継経路機能を有しており、この結果から、通信範囲外になった場合の中継経路を自動検出することが確認できた。

6.2.2.5 各陸上基地局から小型船舶への応答時間測定

小型船舶 (以下、craft と呼ぶ) から各陸上基地局へ ping(32bytes) を 50 回連続して実行し、応答時間を測定した。表 6.5 より、多少のパケットロスが生じるものの陸上基地局間と同様に通信を行うことができた。craft-4 班間で 30% パケットロスが生じているが、潮流の影響で船が流されており、その間、船舶の横行が障害物となり、30% のパケットロスが生じたと考えられる。

表 6.5 各陸上基地局から小型船舶への応答時間計測結果

Table 6.5 Response time from each land base station to maritime base station (from each point to the small craft).

point	max(ms)	min(ms)	average(ms)	loss(%)
1 ↑ craft	402	34	125	0
craft ↑ 1	371	20	112	2
2 ↑ craft	390	100	174	8
craft ↑ 2	260	90	161	8
3 ↑ craft	596	257	351	4
craft ↑ 3	571	190	282	2
4 ↑ craft	256	41	132	2
craft ↑ 4	571	50	114	30

(1)craft-2 班間と (2)craft-3 班間で比較をすると、(2)の距離が近かったにも関わらず、応答時間が遅くなっている。これは、3班の背面周辺に崖があるため、無指向性アンテナを用いるにも関わらず、通信可能範囲が狭められていたことと、船が潮流の影響で通信範囲内から外れたため、伝搬遅延が生じたことが原因と考えられる。

6.2.3 通行船の横断による通信への影響調査

実験海域付近では、小型船舶の他に図 6.9 に示すような船舶が航行している。各船舶ともそれぞれ、全長、垂線間長さ、速力などが違う。そこで、船舶が横断する際に ping コマンド (32Bytes) を 50 回連続して実行し、応答時間の変化を測定することで、通信品質を調査した。実験は、平成 15 年 7 月 24 日 (平均気温 25℃, 風速 1m/s) に、図 6.7 の point3 と Point4 間で行った。なお、小型船舶でのアンテナ設置を考慮するため、アンテナの高さを船舶が横断した際にアンテナ同士見通すことができない 2m (海面からの距離)、見通すことができる 6m (海面からの距離) に設定した。結果を表 6.6 に示す。

アンテナの高さに着目すると、低い方が横断船舶が障害物となるため、パケットロスの割合が多い。さらに、横断船舶の速度に着目すると、遅い方がパケットロスの割合が多い。速い場合、図 6.10 の B 地点でのみ影響を与え、遅い場合は、A

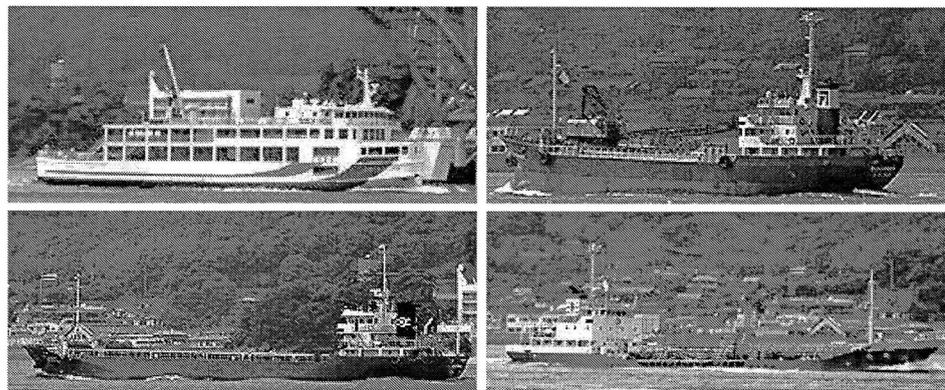


図 6.9 実験海域付近を航行する船舶の種類

Fig. 6.9 Ships navigating the experiment sea area.

表 6.6 横断する船舶速度およびアンテナの高さによる通信品質

Table 6.6 Effect of the wireless communication quality by the speed of passing ship and the height of antenna.

antenna height	speed of the passing ship	loss(%)
low (2m)	high	16
low (2m)	low	30
heigh (6m)	high	0
heigh (6m)	low	4

地点から C 地点まで影響を与える。これも、横断船舶が障害物となるため、遅い方が長い間、通信に影響を与えるためである。小型船舶の場合、船体の大きさによる安定度合いからアンテナの高さには制限があるため、このような横断船舶によるアンテナ間の遮蔽について考慮する必要があることが分かった。なお、バンドモニタ RBM2400^[69]を用いて、電波利用状況の確認を行なったが、横断船舶からのノイズ（電波干渉）などの影響は受けないことを確認し、本実験で生じたパケットロスには横断船舶が障害物となることが主原因であることが分かった。文献[70]によると、大島瀬戸の通行量と船舶の大きさ別割合は、潮流が激しくない時間帯に漁船などの垂線間長さが比較的低い船舶が主として航行していること、13時から15時にかけて100tから500tの船舶の通行量が増加していること、そして、15時には、1時間に18隻程度通行することなどが分かっている。したがって、こ

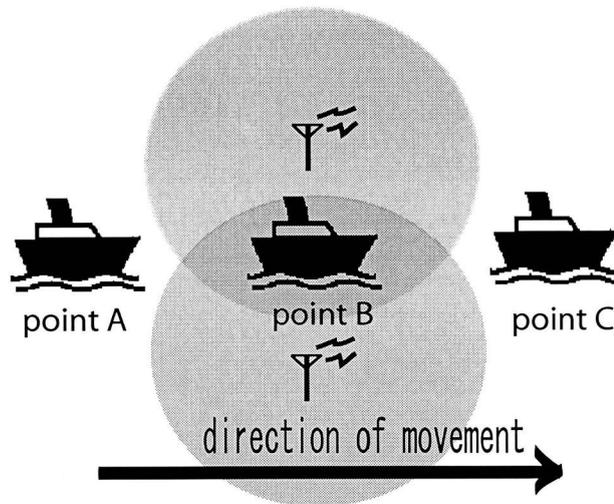


図 6.10 船舶の横行による通信の影響

Fig. 6.10 Effect of the wireless communication quality by passing ships.

の海域において、15時には、頻繁に通信に影響を受けることが分かる。これらのことから、通行船の横断による通信への影響を考慮するためには、ネットワーク構築する海域の交通量の把握も重要であることが分かった。

6.2.4 小型船舶対象の安心ネットワークへのモバイルエージェント導入評価

6.2.2.の実験結果より、海上で無線LANを使用する場合、気象条件の変化、つまり天候や波の高さ、潮流(順流, 逆流)など予測することのできない要因が発生することが分かった。そのため、無線リンクが不安定になり、それに伴い、リンク関係も動的に変動する。この問題を解決するため、リンクを自律的に選択して情報を伝達することができるモバイルエージェント技術の導入を考えた。

エージェントは、利用者の代理として活動し、利用者の目的とする作業を支援するソフトウェアの総称として定義されている^[71]。すなわち、モバイルエージェントは、コンピュータ間の自律的移動能力を持つプログラムであり、エージェント自体が利用者の代理人としてネットワーク上を自律的に移動しながら特定の仕事を遂行する。そのため、利用者はネットワークに逐一接続して作業する必要がない。モバイルエージェントを用いる利点を以下に示す。

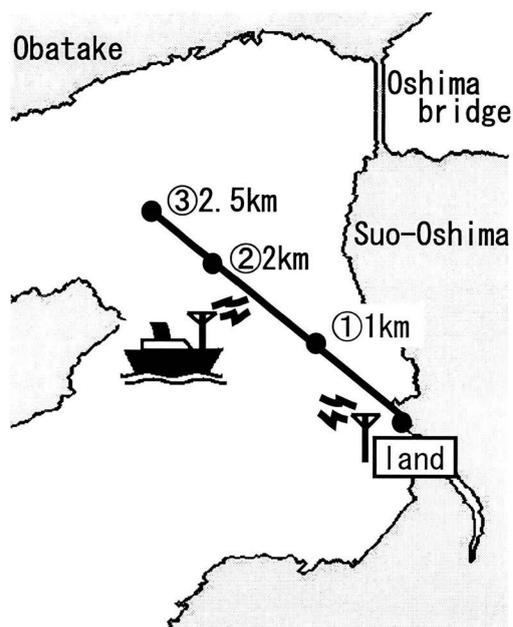


図 6.11 モバイルエージェント実験

Fig. 6.11 Movement of the mobile agent.

- コンピュータ間通信トラフィックの削減：コンピュータ間通信をコンピュータ内通信に局所化
- 非同期実行：移動先コンピュータと移動元コンピュータは独立しており，移動後は通信切断しても処理可能
- 負荷分散：複製を生成し，並列処理を行うことにより負荷を分散
- 通信回数・遅延の低減化：通信相手側コンピュータに移動・処理

以上のことよりモバイルエージェントは，(1)回線リンクが不安定なときでも，自動的に新たな通信経路を確立することができる，(2)小型船舶の船長がコンピュータ利用が苦手であるときでも，代理人として動作することができるため，本研究で提案する安心ネットワークを実現するために有効な手段である。

6.2.4.1 陸上間と海陸間における情報検索システム

平成16年2月15日(平均気温12℃，風速3m/s)に，陸上基地局2点間(land-land，陸上間)，陸上基地局と海上における小型船舶基地局の2点間(land-maritime，陸

表 6.7 HTTP1.1 get コマンド (データサイズ 40kbyte) の応答時間 (ms)

Table 6.7 Response time of HTTP1.1 get (data size 40kbytes).

	land	land - maritime		
	1km	1km	2km	2.5km
max (ms)	1332	2684	2854	8783
min (ms)	1001	1763	1392	1653
difference (ms)	331	921	1462	7130

海間)において1km離れた地点に各基地局を配置し、表6.7に示すデータを取得する通信実験を行った(図6.11)。

なお、陸上間はアンテナ間の見通しのよい場所に配置した。海陸間は、図6.7におけるPoint1を陸上基地局、Point1からPoint4までの海域に小型船舶基地局を配置した。データの取得は、従来のClient/Server方式としてHTTP1.1のgetコマンドを用いてデータ取得を行う方法と、モバイルエージェント方式としてモバイルエージェントシステムAgentSpace^[6]を用いてデータ取得を行う方法との2通りの方法で通信実験を行った。モバイルエージェント方式のシナリオは、モバイルエージェントのプログラム自体がサーバ側へ移動し、移動先サーバでユーザの指定に応じたデータ加工(圧縮処理)を行い、データを取得後、再びクライアント側へ移動する。AgentSpaceはプロトコル非依存であるが、本実験においては、Client/Server方式のプロトコルと同じHTTP1.1を用いて、データ取得を行う。これら2つの通信実験から得られた応答時間を比較することで、モバイルエージェント導入の評価を行う。なお、実験用無線ルータおよびアンテナは、5.3.2.表5.3で用いたものを利用した。

6.2.4.2 実験結果

実験結果を図6.12に示す。X軸はデータサイズ、Y軸は応答時間を示す。応答時間は10回連続して実行し、測定した平均値である。まず、陸上間通信に着目する。getコマンドの場合、データサイズが大きくなるにつれて応答時間が急激に増加していく。これに対して、モバイルエージェントを使用した場合は、データサイズが大きくなるにつれて応答時間は緩やかに増加している。データサイズが小さ

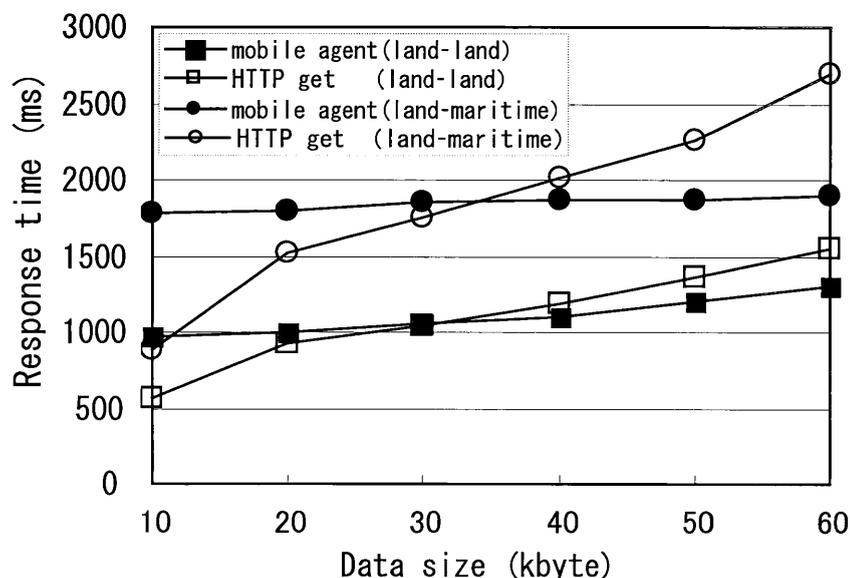


図 6.12 モバイルエージェントと Http get コマンドの実験結果

Fig. 6.12 Comparison between mobile agent and HTTP get.

い時は、モバイルエージェントの方が応答時間が長く、データサイズが大きくなると get コマンドの方が応答時間が長くなる。これらの理由は、モバイルエージェントはプログラム自体が移動するため、データサイズが小さいときには、そのプログラムの大きさの負荷度合いやサーバ側での処理時間の割合が大きくなるためである。

次に、陸海間通信に着目する。データサイズが大きくなるにつれて応答時間が増加する様子は、陸上間通信と同様である。しかし、陸海間通信での応答時間は陸上間通信よりも約2倍増加していることが分かる。これは、海上における回線品質が悪いことが原因である。このように回線品質が悪いにも関わらず、モバイルエージェントはデータサイズに関係なく、ほぼ一定の応答時間であることが分かった。海上のような比較的回線品質が悪い場合に、モバイルエージェントが有効であることが分かった。次に、データサイズが 40kbytes 付近がデータのばらつきが大きかったため、データサイズを 40kbytes に固定し、陸海間通信を 1km の他に、2km, 2.5km 地点においても同様の実験を行った。その結果を表 6.7 に示す。陸上間通信は 2km, 2.5km とともに結果に変化が見られなかったため、省略した。陸海上間通信において、距離が離れる程、最大応答時間と最小応答時間の差が大きくなる。

これは、通信の不安定さが増大していることを示す。他にも、5km 地点においても同様の実験を行ったが、モバイルエージェントでは通信可能であったにもかかわらず、get コマンドでは通信が途切れることがあった。したがって、距離が離れることによって、通信品質が悪い状態の時には、モバイルエージェントを導入した方が有効であるといえる。以上よりデータサイズが小さい場合は、get コマンドを使用した方が応答時間は短くなるが、get コマンドでは通信困難な場所でも、モバイルエージェントを導入すれば通信することが可能であることが分かった。また、本実験結果より 30kbytes のデータサイズ以上から応答時間が逆転することと、回線切断時に対応できることから、海上においてモバイルエージェントを導入することは十分有効であると言える。モバイルエージェントを使用すれば、サーバ側であらかじめ加工処理や圧縮を行うことが可能である。このことから、さらに通信時間を短縮することができ、ネットワークに対する負荷の軽減をすることが可能となる。

6.3 本章のまとめと今後の課題

本章では、これまで用いてきた情報検索システムに、低帯域幅で通信品質が変動する通信環境を与えたネットワークモデルを想定し、モバイルエージェントの特徴の一つである再送機能に焦点をあて、変動する通信環境におけるモバイルエージェント導入評価のための実験を計算機シミュレーションにより実施し、サーバへの巡回に要した移動回数の振舞いを調査した。

その結果、通信品質が変動する通信環境では、モバイルエージェントの生成数を増やした方が、再送を試みる回数も増加するため、巡回が成功することが分かった。適切な再送間隔は、2 局間を移動する平均時間に設定することが適していることも分かった。したがって、通信品質が変動する通信環境では、モバイルエージェントに最適な再送間隔を設定し、モバイルエージェント生成数を増加させることにより、巡回が成功する確率が高くなるため、全体的として情報検索の効率化につながることを指摘することができた。

この知見をもとに、本章では、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として、小型船舶対象の安心ネットワークアプリケーションを取り上げた、具体的には、経験不足の船長でも安心して航

海することができる通信手段として、海上無線 LAN を利用した安心ネットワークを提案した。通信実験により、本校周辺の瀬戸内海海域に実際に小型船舶も移動局のひとつとして無線 LAN を構築し、さらに、モバイルエージェント導入の有効性を示した。

これからは、安心ネットワークのサービスを行うアプリケーション開発を行う。モバイルエージェント技術を導入すれば、特定の小型船舶の追従や陸上基地局からの小型船舶の遠隔制御・監視などが行える効果的なアプリケーションを開発できる。より確かな小型船舶の安全航海を実現するため、今後はこれらのアプリケーション開発に取り組みたいと考えている。本研究で提案した安心ネットワークは、小型船舶の共通通信手段に焦点を当てており、小型船舶と陸上基地局間、そして小型船舶間を対象としている。今後はこれに加えて、小型船舶と大型船舶間の通信を無線 LAN で行えば、両船舶間の衝突を事前に防止する装置などを実現することができる。今後も、このような装置の開発も含めて、小型船舶の安全安心航行を支援するためのシステム実現に向けて研究を進めていきたい。

第7章 結論

本論文は、変動する通信環境下におけるモバイルエージェントの性能特性に関する研究について著者の一連の研究成果をまとめたものであり、得られた結果は以下のとおりである。

特に、モバイルエージェントのライフタイムに焦点をあて、これがモバイルエージェントシステムの性能に与える影響について考察した。まだ検討が不十分であるライフタイムを取り扱うため、これを導入基準とした場合のモバイルエージェントの定性的な性質を明らかにすることを目的とした。

1. 既往のモバイルエージェント性能研究で導入されてきた性能決定要因の各コストを明確にした（第2章）。
2. モバイルエージェントがライフタイムを持つ効果（不要エージェントの排除、計算機資源の不当消費の防止、仕事の再計画への誘発など）を提示した。そして、先に示した1.において明確となったモバイルエージェントの性能決定要因の各コストにライフタイムを加え、これらの相関関係を明らかにした。その際、ライフタイムを一定として各モバイルエージェントに与えることで、以下のことが図れるため、ライフタイムが重要な尺度であることを確認した（第3章）。
 - 各モバイルエージェントの通信・処理コストに制約を与え、各モバイルエージェントの処理負担の均等化を図ることを確認した
 - 与えられるライフタイムの長さによりモバイルエージェント数が影響を受け、その関係はトレードオフになる影響関係であることを確認した
3. ネットワークモデルとしてモバイルエージェントシステムの典型的な応用例である遠隔情報検索システムをとりあげたうえで、モバイルエージェント巡回の仮定条件を与えた。ライフタイムとモバイルエージェント数に着目した

ときに、最適な巡回を達成するときのモバイルエージェント数を求める問題がNP完全であることを示した。

次に、ライフタイムに着目したモバイルエージェント巡回性質を評価するために、本研究の重要な要素である「変動する通信環境」を、モバイルエージェントを導入した分散アプリケーション利用による通信環境の変動（第5章で議論）と通信環境自体の変動（第6章で議論），という2点からのアプローチにより計算機シミュレーションによって調査するために与えるパラメータを定義した（第4章）。

4. ライフタイムおよびモバイルエージェントサイズの増加要因となるターゲット存在確率を変動させて計算機シミュレーションにより影響を調査した。その結果、各モバイルエージェントに適切な一定のライフタイムを与えることにより、各モバイルエージェントの通信・処理コストができるだけ均一になるように訪れるサーバ数や旅程を決定することで、通信環境に影響を与えるモバイルエージェントの数を減少させることができるため、このことが、全体として情報検索の効率化につながることを指摘した。

調査結果より得られた知見をもとに、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として、安否情報交換アプリケーションを取り上げた。本アプリケーションにモバイルエージェントを導入するため行った実験により次のことが分かった。(A) 災害後に避難所間の連絡通信網として無線ネットワークを設置するため通信品質の調査を実施し、小さいパケットサイズであれば十分通信可能であることを示した、(B) 複数の避難所間でデータ共有するための情報交換作業により、避難者の安否情報の入力間隔により遅延が生じるが、実験結果より導入には問題ないことを指摘した（第5章）。

5. ライフタイムとターゲット存在確率は一定とし、新たに与えた回線切断確率と再送機能の2つのパラメータを変化させ、計算機シミュレーションにより、このような変動する通信環境下においても、モバイルエージェントが巡回を終えることができ、モバイルエージェントの移動がさらなる通信環境の変動原因とならないように移動回数を出来るだけ少なくし、かつ、巡回に必要なモバイルエージェント数を少なくすることが効率化となることに注目して調

査した。その結果、変動する通信環境下では、モバイルエージェントに最適な再送間隔を設定し、モバイルエージェント生成数を増加させることにより、巡回が成功する確率が高くなるため、全体的な情報検索の効率を上げることができることを指摘した。

調査結果より得られた知見をもとに、分散アプリケーションへモバイルエージェントを導入することで効率化が期待できる例として小型船舶対象の安心ネットワークアプリケーションを取り上げた。本アプリケーションにモバイルエージェントを導入するために行った実験により次のことが分かった。(A) 海上における無線ネットワークを構築するための通信品質の調査を実施し、地形や波の高低により変化が生じるが、構築可能であることがわかった、(B) 実際にモバイルエージェント技術を導入し、従来からある HTTP get コマンドとのレスポンス比較を実施し、モバイルエージェント導入の有用性を示すことができた (第6章)。

以上本研究により、変動する通信環境下におけるモバイルエージェントの性能特性に関する研究について、ライフタイムの有用性と他要因との相関を定義し、現実に近い計算機シミュレーションを用いてモバイルエージェントの性能特性を評価した。本研究の成果は、通信を考慮する分散アプリケーションシステムに、本研究で得られた知見をもとにモバイルエージェントを導入することで、その設計に貢献できると考える。また、本研究で提案した2つのアプリケーションは、分散アプリケーションとしての実用化に対応できるため、今後はモバイルエージェントを実装したアプリケーションとしての設計開発をしていきたいと考える。

謝辞

本研究の遂行ならびに本論文の作成にあたり，終始懇切丁寧な御指導，御鞭撻を賜りました山口大学大学院理工学研究科教授 松野浩嗣先生に心からお礼を申し上げます。筆者に対して，研究者としての姿勢やその道を切り開いていただいたのも，先生の公私にわたる御指導の賜物と深く感謝しております。ここに，心から厚くお礼申し上げます。

さらに，本論文をまとめるに際し，副査をお引き受け下さり，また本論文に対するご検討と多くの有益なご教示を賜りました，同大学院教授 吉川学先生ならびに内野英治先生，同大学院助教授 菊政勲先生ならびに末竹規哲先生に厚く御礼申し上げます。

山口大学大学院理工学研究科博士後期課程への社会人入学に際して，大島商船高等専門学校前校長 山崎直樹先生ならびに 現校長 和氣博嗣先生，情報工学科教授 故田中一雅先生には特設の御配慮を頂きました。山中順吉前学科長，松井利幸現学科長を初めとして，筆者が所属する情報工学科の諸先生方には，本研究の遂行にあたって多大な迷惑をお掛けしたにも関わらず，終始暖かい励ましをいただきました。鳥取大学地域学部教授 高橋ちぐさ先生にも感謝いたします。とりわけ，大島丸1等航海士の藤井敬二先生には海上無線 LAN 構築の際の検討や討論に関して，大島丸乗組員および第一実習系の皆様には，本校実習船を利用した実験に関して，技術専門職員 吉田年輝氏および実験実習第二系の皆様にはアンテナ設置台などの機材作成に関して，商船学科教授 岩崎寛希先生には海事用語に関して，情報工学科助教授 岡村健史郎先生にはネットワーク構築に関して，商船学科教授 三原伊文先生，商船学科助教授 川原秀夫先生，電子機械工学科助教授 藤井雅之先生，宇部工業高等専門学校助教授 武藤義彦先生には博士号取得の先輩として，種々の御助言を頂きました。二度に渡る国際学会の発表では英語科教授 吉留文男先生にお世話になりました。学生時代から暖かい励ましを送り続けてくれた副校長 平畑幸作先生に感謝いたします。誠にありがとうございます。

ました。

本研究を遂行するにあたり，山口大学大学院理工学研究科自然科学基盤系学域情報科学分野ネットワーク科学研究室の卒業生，修了生ならびに在学生の皆様には，多くのご協力を頂きました。特に，計算機シミュレーションを実行するにあたり，検討や討論をして頂いた広島国際大学助手 重安哲也先生や本論文の一部を修士研究や卒業研究で熱心に取り組み，実験・データ収集などでご協力いただいた亀川誠氏（平成16年度修了生），河本麻衣氏（平成17年度修了生），佐藤正行氏（平成18年度修了生）に深く御礼申し上げます。また，大島商船高等専門学校情報工学科 平成15年度卒業研究生の村井祐介君，堀康之君，富岡祐司君，藤中達也君の各氏へも深く御礼申し上げます。

なお，本研究は，平成13年～14年度科学研究費補助金奨励研究（A），平成15年～16年度科学研究費補助金若手研究（B）の援助によって遂行されました。ここに感謝の意を表します。

博士後期課程で共に学んできた李晨氏にも心からのお礼を申し上げます。

技術を学ぶ姿勢を教えてくださいました名古屋大学大型計算機センター（現名古屋大学基盤センター）の大須賀時政氏，赤塚保雄氏，高橋一郎氏，角三由美恵氏，各氏に心から感謝いたします。

終わりに，筆者の健康をいつも気遣い温かく見守ってくれた浦上家，市村家の両親，筆者を励まし続けてくれた亡き祖父の恒一，姉の利佐子，森永家の方々，本当に有難うございました。そして，教育や研究活動に理解と暖かい励ましをくれた夫 直人に心から感謝して本研究の謝辞と致します。

平成19年3月

浦上 美佐子

参考文献

- [1] J.E.White: “Telescript Technology: the foundation of the electronic marketplace”, White Paper, General Magic (1994)
- [2] B.D.Lange and M.Oshima: “Programming and Deploying Java Mobile Agents with Aglets”, Addison Wesley (1998)
- [3] A.Ohsuga, Y.Nagai, Y.Irie, M.Hattori, and S.Honiden: “PLANGENT, An Approach to Making Mobile Agents Intelligent”, IEEE Internet Computing, Vol.1, No.4, pp.50–57 (1997)
- [4] J.Baumann, F.Hohl, K.Rothermel, and M.Strasser: “Mole-Concepts of a Mobile Agent System”, World Wide Web , Vol.1, No.3, pp.123–137 (1998)
- [5] I.Satoh: “AgentSpace: A Mobile Agent System”,
<http://research.nii.ac.jp/ichiro/agent/agentspace.html>
- [6] I.Satoh: “MobileSpaces: A Framework for Building Adaptive Distributed Applications using a Hierarchical Mobile Agent System”, Proc. ICDCS2000, pp.161–168, IEEE Computer Society, April (2000)
- [7] IBM Research: “Aglets-based e-marketplace: concept, architecture and applications”, Research Report RT-0253, Tokyo Research Laboratory, Japan (1997)
- [8] 西口映・加藤寿人・志田康一郎・高田裕志: 「鉄鋼設備 CALS 実用化研究企業間 CALS 向け業務モデルと情報基盤の開発」, CALS Expo INTERNATIONAL 1997 論文集 (1997)

- [9] S.Aoki, S.Makino, T.Okoshi, J.Nakazawa, and H.Tokuda: “SONA: Applying Mobile Agent to Networked Appliances Control”, Proc. IWNA2001, pp.78–83 (2001)
- [10] P.Bellavista, A.Corradi, and C.Stefanelli: “Mobile Agent Middleware for Mobile Computing”, IEEE Computer, Vol.34, pp.73–81 (2001)
- [11] GMD FOKUS, International Business Machines Corporation, Supported by Crystaliz Inc., General Magic Inc., The Open Group:Joint Submission: “Mobile Agent System Interoperability Facilities Specification”, 1997 OMG TC Document orbos/97-10-05 (1997)
- [12] 本位田真一・大須賀昭彦:「オブジェクト指向からエージェント指向へ」, ソフトバンク (1998)
- [13] 服部文夫:「エージェント通信技術の動向」, 情処学論, Vol.11, No.39, pp1118–1123 (1998)
- [14] C.G.Harrison, D.M.Chess, and A.Kershenbaum: “Mobile Agents: Are they a good idea?”, Research Report, IBM Reseach Division, T.J.Watson Reserach Center, March (1995)
- [15] D.B.Lange: “Mobile Objects and Mobile Agents: The Future of Distributed Computing ?”, Proceedings of ECOOP’98, LNCS 1445, Springer, pp.1–13 (1998)
- [16] 岩井俊弥:「Java モーバイル・エージェント」, ソフト・リサーチ・センター (1998)
- [17] FIPA : <http://www.fipa.org/>
- [18] OMG : <http://www.omg.org/>
- [19] ACL : <http://www.fipa.org/repository/aclspecs.html>
- [20] OMG: “The Common Object Request Broker : Architecture and Specification Revision 2.0”, July (1995), Updated July (1996)

-
- [21] OMG: “Common Facilities RFP3 OMG TC Document 95-11-3” (1995)
- [22] I.Satoh: “Mobile Agent Technology”, *Journal of JSAI*, Vol.14, No.4, pp.22–29 (1999) (in Japanese)
佐藤一郎:「モバイルエージェントの動向」, 人工知能誌, Vol.14, No.4, pp.22–29 (1999)
- [23] M.Strasser and M.Schwehm: “A Performance Model for Mobile Agent Systems”, Proc. PDPTA’97, Vol.2, pp.1132–1140 (1997)
- [24] L.Ismail and D.Hagimont: “A Performance Evaluation of the Mobile Agent Paradigm”, Proc. OOPSLA’99, pp.306–313, ACM Press (1999)
- [25] M.Isogai, M.Kumai, M. Y.Kobayashi, K.Kuroiwa, Y.Arakawa, and R.Suzuki: “Safety Inquiry System based on Mobile Agent Communication Technology”, *Journal of IEICE*, Vol.J83–B No.3, pp.297–307 (2000) (in Japanese)
磯貝光雄・熊井満之・小林陽一・黒岩克年・荒川佳樹・鈴木龍太郎:「エージェント技術に基づいた安否照会システム」, 信学論 (B), Vol.J83-B, No.3, pp.297–307 (2000)
- [26] W.Caripe, G.Cybenko, K.Moizumi, and R.Gray: “Network awareness and mobile agent systems”, *IEEE Commun. Mag.*, pp.44–49 (1998)
- [27] R.S.Gray, D.Kotz, R.A.Peterson, J.Barton, D.Chacon, P.Gerken, M.Hofmann, J.Bradshaw, M.Breedy, R.Jeffers, and N.Suri: “ Mobile-Agent versus Client/Server Performance: Scalability in an Information-Retrieval Task”, Proc. MA2001, pp.229–243 (2001)
- [28] N.Maeda and S.Nakajima: “A Quantitative Evaluation Method of Mobile Agent for Distributed System Development”, *Journal of IPSJ*, Vol.43, No.7, pp.2330–2336 (2002) (in Japanese)
前田直人・中島震:「分散システム開発のための移動エージェントの定量的評価方法」, 情処学論, Vol.43, No.7, pp.2330–2336 (2002)
- [29] S.Kokubu, S.Haibara, and K.Kawagoe: “Mobile Agent Control Mechanism for Web Retrieval under Temporal Constraint Environment”, *Journal of IPSJ*,

- Vol.41, No.10, pp.2945–2948 (2000) (in Japanese)
國分俊介・灰原清太郎・川越恭二：「時間制約下での WWW 検索のためのモバイルエージェント制御方法」, 情処学論, Vol.41, No.10, pp.2945–2948 (2000)
- [30] S.Sugawara, T.Oshima, K.Yamaoka, and Y.Sakai: “A Study on Efficient Information Search with Agents in Large-Scale Network”, *Journal of IEICE*, Vol.J82–B, No.6, pp.1115–1125 (1999) (in Japanese)
菅原真司・大島貴光・山岡克式・酒井義則：「エージェントを用いたネットワークにおける情報探索の効率化に関する検討」, 信学論 (B), Vol.J82–B, No.6, pp.1115–1125 (1999)
- [31] J.W.Baek, J.H.Yeo, G.T.Kim, and H.Y.Yeom: “Cost Effective Planning of Timed Mobile Agents”, Proc. ITCC2002, pp.536–541 (2002)
- [32] Project:Aglet Software Development Kit,
<http://sourceforge.net/projects/aglets/>
- [33] 阿部洋丈・加藤和彦：「強いマイグレーションと資源消費制御をサポートしたエージェントシステムの実現」, Proc. SPA2001, オンライン論文集 (URL ; <http://spa.jssst.or.jp/2001/>) (2001)
- [34] H.Tai, G.Yamamoto: “The Present State of Mobile Agent Technologies And its Future Issues”, *Journal of JSSST*, Vol.16, No.5, pp.402–413 (1999) (in Japanese)
田井秀樹・山本学：「移動エージェント技術の現状と今後の課題」, コンピュータソフトウェア, Vol.16, No.5, pp.402–413 (1999)
- [35] T.Ito and T.Shintani: “On a Group Choice Design Support System Based on Multiple Negotiations among Mobile - agents”, *Journal of IPSJ*, Vol.39, No.12, pp.3165–3176 (1998) (in Japanese)
伊藤孝行・新谷虎松：「モバイルエージェント間の多重交渉に基づくグループ代替案選択支援システムについて」, 情処学論, Vol.39, No.12, pp.3165–3176 (1998)
- [36] 山本芳嗣・久保幹雄：「巡回セールスマン問題への招待」, 朝倉書店, 東京 (1997)

-
- [37] R.M.Garey and S.D.Johnson: “Computers and Intractability - A Guide to the Theory of NP-Completeness”, W.H.Freeman and Company, New York (1979)
- [38] The Network Simulator NS2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [39] M.Urakami, T.Shigeyasu, and H.Matsuno, “Performance Evaluation of Mobile Agent on Its Living Time and Target Existing Rates in Servers”, Proc. ICDCS-MNSA2004, pp.341–346, 2002.
- [40] 佐々木宏・吉井英樹:「モバイルエージェントの生成数制御方式」, The Third Workshop on Internet Technology(WIT2000), pp.76–83 (2000)
- [41] 坂本大吾・旭秀晶・中村大輔・橋本浩二・高畑一夫・柴田義孝:「無線通信を主体とした防災・災害情報ネットワークシステム:安否情報検索システムの開発と機能評価」, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp.67–72 (2001)
- [42] 岐阜防災モバイルネットワークシステム,
<http://www.pref.gifu.jp/s11117/portal/06system.htm>
- [43] 耐震改修促進法,
<http://web.pref.hyogo.jp/kentiku/bousai/taishin.htm>
- [44] 公立学校施設の耐震診断実施計画の策定について,
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyosei/021004.htm
- [45] “進まぬ耐震診断と補強”, 朝日新聞, 27面, 8月29日 (2001)
- [46] The Network Simulator NS2 :
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [47] Strasser.M and Schwehm.M : A Performance Model for Mobile Agent Systems (2000)
- [48] Kunal Shah : Performance Analysis of Mobile Agents in Wireless Internet Applications Using Simulation, Lamar University (2003)

- [49] 海上保安庁：緊急連絡118通報,
http://www.kaiho.mlit.go.jp/joho/tel118/ (2000)
- [50] 総務省郵政事業庁(旧郵政省):海上通信の高度化に関する研究会報告書(2000)
- [51] 財団法人日本海洋レジャー安全・復興協会：小型船舶の航行の安全に関する教則, *http://www.jmra.or.jp/*
- [52] 海上保安庁：沿岸域情報提供システム(MICS),
http://www.kaiho.mlit.go.jp/syokai/soshiki/toudai/mics (2002)
- [53] マリンロード運営協議会：海道の旅(マリンロード),
http://uminohi.com/marineroad/ (2002)
- [54] 株式会社ワムネットサービス：GPS携帯用コンテンツ“海ざんまい”,
http://www.wham.jp/sea.htm (2004)
- [55] 遠藤真, 新村俊二, 大谷哲也, 正角豊：小型船遠隔安全管理システムの検討と試作—コンセプトとシステム構成—, 日本航海学会論文誌100号, pp.153-160 (2000)
- [56] 山田耕司, 林尚吾, 井手麻奈美, 村山雅己：携帯電話を用いた海上救難システムの提案, NAVIGATION, pp.42-46 (2003)
- [57] 海上保安庁：平成14年版海上保安統計年報, 第53巻 (2003).
- [58] 山崎重一郎, 井上崇, 川根祐二, 荒木啓二郎：無線による地域ネットワーク実験—年コミュニティの新しいかたち—, 情報処理学会誌, Vol. 41, No. 1, pp.26-31 (2000).
- [59] 武市統, 宮崎玄教, 今井一雅：無線LANによる情報コミュニティシステムの設計・構築, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-B, No. 12, pp.1414-2417 (2001).
- [60] 福家直樹, 杉山敬三, 篠永英之：海上長距離区間を伴う無線LANの構築と運用—スペースダイバーシチ方式による特性改善と測定結果—, 電子情報通信学会論文誌B Vol. J86-B, No. 8, pp.1417-1425 (2003).

-
- [61] 佐々井祐二, 岩崎寛希: キャンパス無線ネットワークの試験研究, 平成12年度大島商船高等専門学校紀要第33号, pp.41-47 (2000).
- [62] ルート株式会社: 四国・大阪港とフェリーの Land & Sea ネットワーク, <http://www.root-hq.com/case/marinasystem-large.html> (2002).
- [63] 川上憲治, 広重一仁, 佐々木宏, 岡宅泰邦, 本位田真一: モバイル環境向けエージェント移動制御, 情報処理学会 モバイルコンピューティングとワイヤレス通信研究会, SIG-MBL-20, pp.123-129 (2002)
- [64] 浦上美佐子, 松野浩嗣, 岩崎寛希: 海上無線 LAN を利用した小型船舶対象の安心ネットワーク構築, 日本航海学会論文集, Vol.111, pp.173-180 (2004)
本位田真一 他: エージェント技術, 共立出版 (1999)
- [65] 川原崎兼介, 高橋和子: モバイルエージェントを用いた動的ネットワークルーティングシステムの拡張, 電気情報通信学会論文誌, B Vol.J86-B No.11, pp.2433-2436 (2003)
- [66] 牧野 聡: モーバイルエージェントを用いた情報閲覧支援環境の構築:
<http://www.sfc.wide.ad.jp/thesis/1998/mak/sotsuron.doc>
- [67] ルート株式会社: <http://www.root-hq.com/>
- [68] RCR:STD-33A 小電力データ通信システムの無線局の無線設備 (1993).
- [69] ルート株式会社: RBM2400 ISM Band Monitor Instruction Manual (2000)
- [70] 大形加絵, 辻啓介: 大島瀬戸における交通量調査, 平成15年度大島商船高等専門学校商船学科卒業研究 (2003).
- [71] Bradshaw, J.M.: Software Agents, AAI Press/ The MIT Press (1997)

