複数拠点統合型センサネットワークにおける データ収集用モバイルエージェントの開発支援システム

濱口 雄人[†1] 義久 智樹[†1] 石 芳正[†1]
寺西 裕一[†1,†2] 原 隆浩[†1] 西尾 章治郎[†1]

近年のセンサネットワークの普及に伴い，複数のセンサネットワーク拠点を連携させて統合的に利用する複数拠点統合型センサネットワークへの注目が高まっている．複数拠点統合型センサネットワークにおける通信量を削減するために，センサネットワーク拠点間を移動可能なプログラムであるモバイルエージェントを利用してデータ収集するシステムが研究開発されている．モバイルエージェントによるデータ収集機能の開発においては，その移動先の選択や処理中の状態，データ収集結果の確認が煩雑となる．そこで本研究では，モバイルエージェントの開発支援システムの設計と実装を行った．本システムでは，モバイルエージェントの可視化，移動指定，実行制御を開発者の端末上の Web ブラウザ経由で行うことを可能とした．本システムにより，工数を削減した上でデータ収集を行うモバイルエージェントの開発が可能となった．

A Development Support System of Mobile Agents for Data Collection on Integrated Sensor Networks

Yuto Hamaguchi,[†1] Tomoki Yoshihisa,[†1]
Yoshimasa Ishi,[†1] Yuuichi Teranishi,[†1,†2]
Takahiro Hara[†1] and Shojiro Nishio[†1]

Due to the recent development of sensor networks, integrated sensor networks attract great attention. To reduce communication traffic on integrated sensor networks, a data collection system that exploits mobile agents has been developed. Mobile agents are computer programs that migrate between integrated sensor networks. Development of the data collection system using mobile agents has many operating steps to select destination sensor networks, to check the processing status of mobile agents, and to confirm data collection results. In this paper, we designed and implemented a development support system of mobile agents for data collection on integrated sensor networks. This system enabled the visualization of mobile agents, the selection of its destinations, and the control of mobile agents via web browser on developer's computer. By supporting the development of mobile agents, we can reduce operating steps to collect data by mobile agents.

1. はじめに

近年のセンシング技術の発展に伴い，温度センサやカメラといったセンサで情報ネットワークを構築するセンサネットワークが多くの場所で運営されている．本研究では，同じ組織が運営するセンサネットワークをまとめてセンサネットワーク拠点と呼ぶ．一つのセンサネットワーク拠点だけでは設置できるセンサの数や場所に制約があるため，複数のセンサネットワーク拠点をインターネット等の広域ネットワークを介して連携する複数拠点統合型センサネットワークに対する注目が高まっている．

例えば，大阪と京都と奈良にオフィスを持つ企業がセンサネットワークを運営していた場合：

- これらのセンサネットワーク拠点から温度データを取得して平均化し，近畿地方の平均温度を算出する．
- これらのセンサネットワーク拠点における，ある時刻の温度の最大値を取得して環境把握に用いる．
- いずれかのセンサネットワーク拠点において温度データが 60 度を超えると，異常と判断して警告を送信する．

といった応用を実現したいとする．このとき，単純に全てのセンサネットワーク拠点をネットワークで相互接続した場合，センサネットワーク拠点からセンサデータをユーザの端末等に一度集約しなければならない．このため，センサデータの集約に時間がかかったり，計算されていないセンサデータそのもののダウンロードによって，通信量が大きくなるという問題があった．こうした問題を解決するため，センサネットワーク拠点間を移動可能なプログラムであるモバイルエージェントを用いてデータ収集を行う方法が提案されている[1)2)]．これらのシステムでは，モバイルエージェントがセンサデータに対して処理を行いながら，

†1 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
†2 情報通信研究機構
National Institute of Information and Communications Technology

必要なデータのみ収集することで，通信量を削減しつつ，センサデータを収集する．例えば，上記の例の場合，大阪と京都と奈良を移動しながら各拠点で平均値を計算して平均値のみ収集することで，全てのデータを収集する場合に比べて通信量を削減できる．また，最大値を得たい場合は，複数のセンサネットワーク拠点を移動しながら最大値を求めていけばよい．温度データが 60 度以上であることを認識する場合については，モバイルエージェントが各センサネットワーク拠点に滞在して，センサデータが発生する場所で直接センサデータを監視することで大幅に通信量を削減できる．

モバイルエージェントを用いてデータ収集や加工処理を行う上では，モバイルエージェントの分散センサネットワーク拠点での位置や保持データなどが可視化されると共に，センサネットワーク拠点間をどのように移動させるかを視覚的に指定できることが望ましい．また，処理の途中経過を把握するためには，モバイルエージェントの処理状況を確認でき，それらに基づいた一時停止や再開などの制御を行える必要がある．これまでにも，複数のセンサネットワークにおけるデータ共有を扱ったシステムが幾つか存在し，それらの幾つかは，データ収集や処理のためのモバイルエージェントを実現しているが，上記を満たした上でデータ収集や加工処理を可能とする，統合利用環境を提供するシステムはない．

そこで本研究では，上記要求を満たす複数拠点統合型センサネットワークにおけるモバイルエージェントの開発支援システム X-Sensor 2.0 の設計と実装を行う．本システムでは，モバイルエージェントを用いたデータ収集システムに Web ブラウザを介して視覚的に操作を行える GUI (Graphical User Interface) を提供する．広域の分散拠点間を自律的に移動するモバイルエージェントの開発や利用を支援するため，センサネットワーク拠点位置を可視化すると共に，モバイルエージェントの移動経路の設定や実行制御を Web ブラウザ上のマップを介して可能とする機構を開発した．

以下，2 章で関連研究を述べ，3 章で提案機構の設計について説明する．また，4 章で実装を行った提案システムである X-Sensor 2.0 の詳細とモバイルエージェントの開発例について説明する．5 章で考察を行い，最後に 6 章でまとめる．

2. 関 連 研 究

センサネットワークの可視化システムの一つに SpyGlass[3] がある．SpyGlass では，センサネットワークの内部状態やセンサ出力値，処理結果などを可視化することを目的としている．Java 言語で実装されており，プラグインの導入のみで個別のセンサネットワークに特化した可視化を行える．可視化のためのプラグインを容易に登録でき，利用したい可視化の表示を切り替えられる．

また，MOTE-VIEW[4] は個々のセンサノードやセンサネットワーク全体の管理，モニタリング，可視化を行うためのフレームワークであり，センサネットワークの容易な配置管理と管理性能の改善を目的としている．センサノード間の帯域，スループットといったセンサネットワークの評価値を可視化できる．

比較的広域な環境モニタリングを行うことを目的とし，広域のセンサデータ情報を可視化し，センサデータ共有を行うシステムとしては Environmental monitoring 2.0[5] がある．インターネットを介して複数のセンサネットワークを分散的に運用するミドルウェアである GSN (Global Sensor Network)[6] とそれらのセンサデータを共有するインタフェースである Sensormap[7] を使用して，複数センサネットワークのデータ共有と可視化を行う．Sensormap はユーザの所有するセンサやセンサネットワークを容易に統合し，公開，データ共有できるシステムである．IrisNet (Internet-scale Resource-Intensive Sensor Network Sevices)[8] は，SA (Sensing Agent) と呼ばれるエージェントがカメラ等のセンサからデータを収集している．ユーザは OA (Organizing Agent) と呼ばれるエージェントを作成し，ユーザの指示に従って OA が SA からデータを受信し，ユーザにサービスを提供している．

SpyGlass や MOTE-VIEW のような既存のセンサネットワークの可視化フレームワークでは，単一のセンサネットワークを対象としていた．また，Environmental monitoring 2.0 や IrisNet のような分散システムでは，データの収集や処理のために複数のエージェントを利用するものの，それらはデータの収集や加工処理に際して移動を伴わない．本研究のように，異種センサで構成される広域な複数拠点統合型センサネットワーク上でモバイルエージェントの開発を支援できる統合利用環境を提供したシステムはこれまでになかった．

3. 設　　計

本章では，まずセンサネットワークシステムおよび複数拠点統合型センサネットワークについて説明したのち，提案システムの設計について説明する．

3.1 センサネットワークシステム

センサネットワークからデータを収集するためのシステムが国内外で開発されている．LiveE![9] は，観測点であるディジタル百葉箱を個人や組織が設置運営し，環境保護対策，教育等様々な分野での利用を目指した広域センサネットワークである．世界 12ヵ国に設置された計 100 台を超えるセンサを保持し，11 台のサーバにより分散的に運用されている．各センサはその位置情報と共に温度，湿度，気圧，風向，風速，雨量の気象データを保持し，

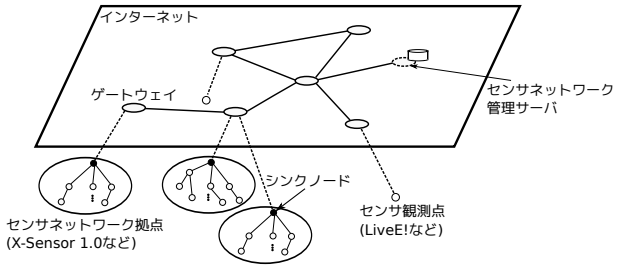

図 1　複数拠点統合型センサネットワークの構成

利用者はこれらのデータを取得できる．

X-Sensor 1.0[10] は筆者らの研究グループで開発した複数のセンサネットワークを統合的に利用できるセンサネットワークテストベッドである．各拠点に設置されたセンサノードに遠隔からプログラムを書き込むことによって，複数拠点を利用したセンサネットワーク実証実験環境として利用できる．また，各拠点で収集したデータを蓄積しており，過去のデータも取得できる．

本研究では，上記の LiveE!，X-Sensor 1.0 の双方，すなわち，単一のセンサから成るセンサ観測点，複数のセンサから構成されるセンサネットワークの両方を対象とした．

3.2　複数拠点統合型センサネットワーク

図 1 に複数拠点統合型センサネットワークの構成を示す．複数拠点統合型センサネットワークは，X-Sensor 1.0 のような幾つかのセンサネットワーク拠点や，LiveE!のように広域に散在する複数のセンサ観測点で構成される．センサ観測点は，単一のセンサから成るセンサネットワーク拠点と見なすことができるため，以降では，センサネットワーク拠点に含まれるものとする．これらのセンサネットワーク拠点にはゲートウェイと呼ばれるセンサネットワークとインターネットを繋ぐ端末がある．ゲートウェイは各センサネットワークのシンクノードと繋がっており，ゲートウェイを介してセンサネットワーク拠点間の連携を可能とする．また，複数の拠点を束ねて利用するため，各センサネットワークの ID や場所，データベーススキーマといったメタデータを管理するセンサネットワーク管理サーバを置く．メタデータは，更新がある度にセンサネットワーク管理サーバに通知され，センサネットワーク管理サーバは最新の情報を保持するようにする．

3.3　モバイルエージェント開発支援システムの要件

複数拠点統合型センサネットワークにおいてデータ収集や加工処理を行うモバイルエージェントの開発を支援するシステムには，以下が要求される．

3.3.1　モバイルエージェント可視化

前節で示した通り，本システムの想定では，自律的に移動するモバイルエージェントが広域に散在するセンサネットワーク拠点間を移動しながら処理を行う．モバイルエージェントの開発を支援する上では，まず，モバイルエージェントがどの位置にあるセンサネットワーク拠点に配置され，処理を行っているかを追跡し，統合利用環境上で把握できる必要がある．また，モバイルエージェントの状態，センサデータの収集状況，中間結果処理，最終結果などの開発上必要となる情報を，複数拠点統合型センサネットワーク上で動作中のモバイルエージェントから取得できなければならない．これらの情報は，開発者の端末上に視覚的に表示できることが望ましい．

3.3.2　モバイルエージェント移動指定

モバイルエージェントを用いたデータ収集システムにおいては，モバイルエージェントの移動先や経路を指定する必要がある．移動先のセンサネットワーク拠点は広域ネットワーク上に多数ある想定であり，地理的にどの位置にある拠点を巡回するかを手動でエージェントプログラムに埋め込む作業は煩雑となる．モバイルエージェントの移動先は実行時に決まる場合もあるが，開発者 · 利用者が明示的に指定する場合は，広域ネットワーク上で複数のモバイルエージェントの移動軌跡を視覚的に把握しながら，移動先や移動経路を設定できることが要求される．このとき，センサネットワーク拠点名に基づく指定や，地理的な位置に基づく指定を視覚的なインタフェースでインタラクティブに行えることが望ましい．

3.3.3　モバイルエージェント制御

モバイルエージェントの実行は，実際には瞬時に終わってしまい，通常の実行状態では，全ての処理が終了するまでモバイルエージェントによるセンサデータの集約 · 処理結果は確認できない．また，センサネットワーク拠点に問題があった場合など，モバイルエージェントが異常停止しても認識できず，異常の原因を究明することは困難となる．複数拠点統合型センサネットワークにおいて，データ収集や加工などの処理を行うモバイルエージェントを開発する上では，処理に関する状況などを逐次的に確認しながら実行できる必要がある．処理状況に基づくモバイルエージェントに対する一時停止や処理再開などの制御は，開発者の端末上から視覚的なインタフェースでインタラクティブに行えることが望ましい．

3.4　設 計 方 針

X-Sensor 2.0 において上記の要件を満たすため，以下の設計方針をとる．

3.4.1 Web ブラウザ上のマップを用いた可視化

開発者の端末上で広域に存在する複数のセンサネットワーク拠点の状態，モバイルエージェントの状態を把握可能とするため，Web ブラウザのマップ上にセンサネットワーク拠点を表示し，マウスによる操作を可能とする．マップ上でマウスカーソルを用いてマップの移動や拡大縮小をインタラクティブに行えるようにし，必要なセンサネットワーク拠点を探せるようにする．さらに，センサネットワーク拠点に関する情報，モバイルエージェントの位置や状態をマップ上から参照できるようにする．

また，データ収集結果をグラフなどの画像で Web ブラウザ上に逐次出力できるようにする．それらのデータ収集結果の視覚化の方法は開発者がエージェントプログラム中に指定する．モバイルエージェントの位置とデータ収集の中間結果は，関連付けて表示可能とし，どの位置で出力されたデータかを視覚的に確認できるようにする．

3.4.2 モバイルエージェント移動先のインタラクティブな指定

モバイルエージェント移動先の指定をエージェントによるデータ処理と分離することで，再度エージェントプログラム中に移動先を記述しなくても良いようにする．マップ上に表示されたセンサネットワーク拠点からモバイルエージェントの移動先や移動経路の登録・削除を行い，インタラクティブに指定できるようにする．複数のモバイルエージェントの移動経路をマップ上に重ねて表示することで，データ収集範囲の重複や漏れなどを検査でき，モバイルエージェントの移動経路の管理を可能とする．

3.4.3 Web ブラウザ上でのモバイルエージェントの実行制御

複数のモバイルエージェントが処理のどの段階でどの拠点に位置するかはマップ上に表示されるが，その動作を実際の動作速度ではなく，マウスを用いて選択するまで一時停止した状態とする，同期的な逐次実行を可能とする．その上で，モバイルエージェントに対する制御命令をモバイルエージェントに対してマップ上から任意のタイミングで送信できるようにする．モバイルエージェントが途中で異常停止した場合やデータ収集が途中で必要なくなった場合などには，マップ上にその旨をリアルタイムに表示するなど，モバイルエージェントのデバッガとしての動作を実現する．

4. 実　　装

本章では，前章の設計方針に基づき実装したデータ収集用モバイルエージェントの開発支援システムである X-Sensor 2.0 について説明する．

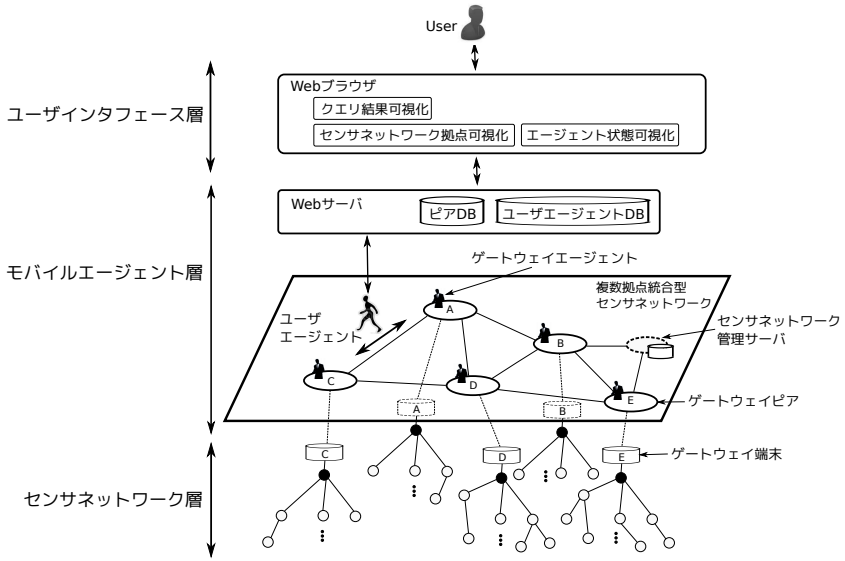

図 2　提案機構の階層構造

4.1 提 案 機 構

ユーザはモバイルエージェントを用いてセンサネットワークからデータ収集するため，図 2 に示すユーザインタフェース層，モバイルエージェント層，センサネットワーク層の 3 層構成で X-Sensor 2.0 を実装した．

ユーザインタフェース層では，ユーザが Web ブラウザを介して，複数拠点統合型センサネットワークを利用するための GUI を提供する．マップ表示には MSN Virtual Earth[11] を用いた．

モバイルエージェント層ではモバイルエージェントミドルウェアとして PIAX (P2P Interactive Agent eXtensions)[12] を採用した．PIAX は，P2P 構造化オーバレイネットワークとモバイルエージェント機構を組み込んだオープンソースのフレームワークである．PIAX によって，ゲートウェイがサーバを介さずに直接通信できる P2P 通信が可能になり，センサネットワーク拠点の増加に対するスケーラビリティを確保できる．モバイルエージェントは PIAX のピア上で動作することになる．PIAX のピアは，ゲートウェイに配置するこ

ととした．ここで，データ収集を実際に行うエージェントをユーザエージェント，各ゲートウェイ上のピアに永続的に待機してユーザエージェントと通信するエージェントをゲートウェイエージェントと呼ぶ．ユーザエージェントが，あるセンサネットワーク拠点からデータ収集する場合，まず，そのセンサネットワーク拠点のゲートウェイエージェントにデータ収集要求を送信する．ユーザエージェントがゲートウェイエージェントと同じセンサネットワーク拠点にいなくても，データ収集要求の送信を行える．ゲートウェイエージェントは，自身のセンサデータベースからデータを収集し，データ収集要求に応える．また，ゲートウェイエージェントはセンサネットワーク管理サーバからのメタ情報の収集要求にも応える．3.2 節で述べたように，センサネットワーク管理サーバは，各センサネットワークの ID や場所，データベーススキーマといったメタ情報を保持している．

センサネットワーク層では，各センサネットワーク拠点のゲートウェイに PIAX のピアが待機しており，ゲートウェイエージェントの管理を行う．センサネットワーク層には 2.1 節で紹介した X-Sensor 1.0 および LiveE!を用いた．

4.2　設計方針の実装

4.2.1　Web ブラウザ上のマップを用いた可視化の実装

マップ上にセンサネットワーク拠点を表示させることでセンサネットワークの位置情報をユーザに提供し，視覚的に対象拠点の選択を行える．図 3 に，マップ上に表示した複数拠点統合型センサネットワークを示す．赤い四角のマーカーは一つのセンサネットワーク拠点を示す．マウスカーソルをマーカーに重ねるとセンサネットワーク拠点情報がポップアップする．近距離に幾つかのセンサネットワーク拠点があると，マーカーが重なって見にくくなるため，マップのズームレベルに応じて複数のセンサネットワーク拠点をまとめて C と書かれた紫のマーカーで表示させる．マップをズームすることで紫のマーカーは赤い四角のマーカーに変化する．ユーザが Web ページにアクセスすると，センサネットワーク拠点をマップ上へ可視化するため，Web サーバはセンサネットワーク管理サーバからセンサネットワーク拠点の情報を取得する．

X-Sensor 2.0 では，データ収集状況の可視化を行うために，ユーザエージェントの居場所の可視化を行った．ゲートウェイエージェントは，各センサネットワーク拠点に滞在して，ユーザエージェントがセンサネットワークにアクセスする際の通信を仲介するのみであるため，マップ上への可視化は行わない．ユーザエージェントの可視化は，ユーザエージェントの移動やエージェント間の通信が発生した際に，それらが発生したことを Web サーバに通知することで行う．次に Web サーバからユーザエージェントに対応するユーザの Web ブラウザへ Reverse Ajax を用いて非同期メッセージを処理し，図 4 のようにユーザエージェントの動作を可視化する．可視化メッセージによるデータ収集へのオーバヘッドの影響を小さくする必要があるため，ユーザエージェントが移動を開始した時と移動先のピアに到着した時のみ可視化のためのメッセージを送信する．

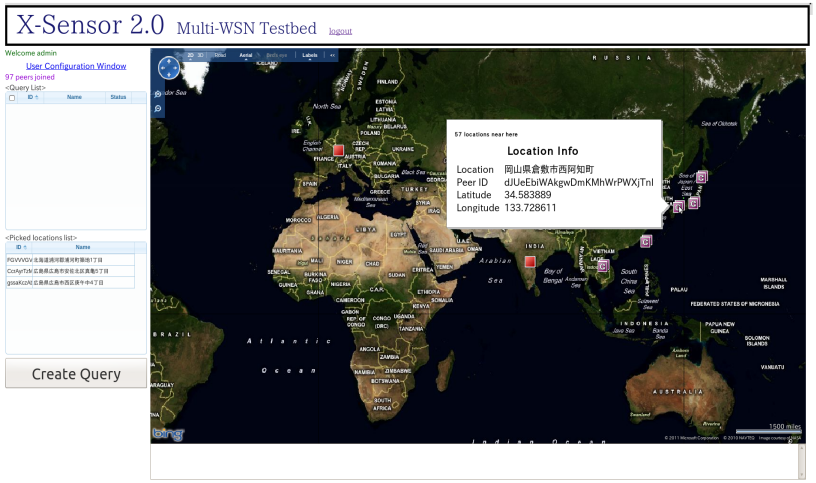

図 3　センサネットワーク拠点の可視化

クエリ実行結果は，図 5 画面左上部のクエリリストをダブルクリックして表示できる．ユーザプログラムに中間結果を返却する処理を記述することで，時系列順にクエリ結果を表示できる．クエリ結果からグラフ画像を生成したり，結果をフォーマット化してテキストファイルでダウンロードすることもできる．

4.2.2　モバイルエージェント移動先指定の実装

モバイルエージェントによるデータ収集を実行する際，ユーザはまずデータ収集するセンサネットワーク拠点をマップ上からクリックして選択する．選択を行うと図 5 画面左下の対象拠点リストに登録され，登録されたセンサネットワーク拠点名をクリックすると該当するセンサネットワークの位置にマップの中心がジャンプする．また，センサネットワーク拠点名をダブルクリックすると対象拠点リストから削除することができる．

次に，画面左下の Create Query ボタンをクリックすると図 5 右側に示すクエリ作成画面

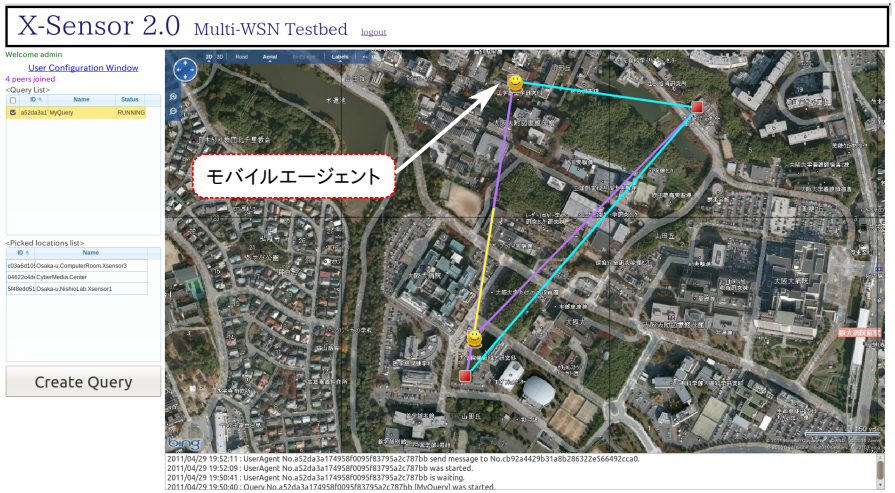

図 4　エージェント間通信の可視化

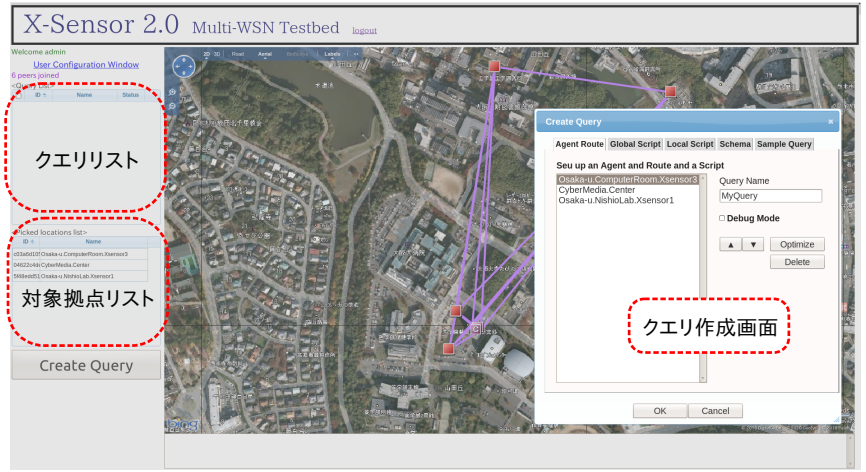

図 5　クエリ作成画面

が表示される．Agent Route タブでは，クエリ毎の識別子であるクエリ名を入力し，選択した対象拠点の巡回経路を指定できる．ここで，デバッグモードを指定すると，ユーザがモバイルエージェントの状態を確認できるように，モバイルエージェントは各センサネットワーク拠点で移動を停止し，ユーザからの制御命令を待つ．ユーザがマップ上から移動を指示するとモバイルエージェントは次の拠点に移動する．Schema タブでは，各センサネットワークのメタ情報を把握できる．

4.2.3　モバイルエージェント実行制御の実装

ユーザエージェントの状態を把握するため，状態を逐次 Web サーバに返信し，Web ブラウザのマップ上に反映する．状態には，クエリが実行可能状態であることを示す READY，ユーザからの制御入力待ちを示す WAIT，クエリ実行中を示す RUNNING，クエリ処理が終了したことを示す FINISH がある．ユーザエージェントから現在の状態を受信すると，これにより Web ブラウザは図 4 の画面左上のデータ処理状態を反映する．

これらの情報に基づき，マップ上のユーザエージェントのマーカーをクリックし，表示されるダイアログボックスからユーザエージェントの動作を制御することができる．制御命令としては，移動開始，一時停止，破棄，ユーザ定義命令があり，必要であれば引数を指定することも可能である．

4.3　モバイルエージェント開発支援 API

モバイルエージェントは PIAX の提供する API を用いて，Java 言語で実装する．しかし，複数拠点統合型センサネットワークからデータ収集する場合，データベース処理やエージェント間通信といった処理が多く，これらを API 化しておくことで，モバイルエージェントの作成に必要なプログラミング時間を短縮できる．そこで，X-Sensor 2.0 では，幾つかの PIAX が提供する API のラッパを実装して，新たにモバイルエージェント開発支援 API を提供した．

表 1 に主なモバイルエージェント開発支援 API を示す．主に，ピア情報やセンサデータベースなどのリソースアクセスを支援する API (PeerAccess クラス)，クエリの発効やクエリ発効により得たデータの加工，さらに複数拠点で実行したクエリの結果管理などを支援する API (SQLProcessor クラス)，エージェントの拠点移動命令やエージェント間の通信などの制御を支援する API (AgentCommunication および AgentControl クラス) がある．

特に，SQLProcessor クラスの getSensorData メソッドを用いることで，データベースへの問い合わせをユーザは簡単に行える．引数にユーザ指定の識別子を指定することで，あ

表 1　主なモバイルエージェント開発支援 API

クラス	主メソッド	引数	戻り値	内容
PeerAccess	getPeerInfo	なし	PeerInfo	ピア情報取得
SQLProcessor	getSensorData	id,site, query	なし	SQL の発効
	getSensorResult	id	ResultSet	SQL 結果の取得
	reverseAsText	id	なし	テキストデータの返信
	reverseAsImage	id, GraphOptions	なし	画像データの返信
AgentCommunication	sendMessage	agentid, message	なし	エージェント間通信
AgentControl	getAgentStatus	なし	AgentStatus	エージェント状態取得
	move	peername	なし	拠点移動命令
	stop	なし	なし	エージェント処理停止命令

る拠点で発効したデータ収集結果を異なる拠点において再利用できる．また，Web ブラウザへのクエリ結果の送信には reverseAsText,reverseAsImage メソッドを用いる．

4.4　モバイルエージェントの開発例

X-Sensor 2.0 は，`http://www2.x-sensor.org/` からアクセスできる．まず，データ収集の対象とするセンサネットワーク拠点を全て選択する．例えば，図 6 において，Osakau.NishioLab.Xsensor1,Osaka-u.NishioLab.Xsensor2,CyberMedia.Center の 3 拠点を対象拠点として選択する．

次に，選択した拠点で実行するプログラムを記述する．ユーザが記述する部分 (a) にある userProcessing 関数は各センサネットワーク拠点において必ず実行される処理であり，各拠点に移動する度に実行したい SQL 文などを記述する．SQLProcessor クラスは，各拠点での透過的なデータベース操作を提供する API であり，そのメソッドである getSensorData で SQL 文を指定する．ここで第一引数はユーザが指定可能な SQL 毎の識別子であり，この識別子を介して，後に述べる集約関数を利用できる．

ユーザが記述する部分 (b) にある finalProcessing 関数はデータ収集後に一度だけ，収集したデータを対象にして統合データ処理などを行うために呼び出されるメソッドである．今回は，この関数内に 3 拠点で収集した温度データの平均値を求める SQL 文をユーザ記述部分 (b) の (1) のように記述する．第二引数では，先ほど指定した識別子である”key1”で示

```
import org.xsensor2.agent.superTraverseAgent;
import org.xsensor2.dbaccess.SQLProcessor;

 public class UserAgent extends traverseAgent{
public void userProcessing() {                                  ユーザが記述する部分(a)
  SQLProcessor sp = this.getSQLProcessor();
  sp.getSensorData("key1","Osaka-u.NishioLab.Xsensor1","select timestamp,value from temperature limit 20");
  sp.getSensorData("key1","Osaka-u.NishioLab.Xsensor2","select timestamp,value from temperature limit 20");
  sp.getSensorData("key1","CyberMedia.Center","select timestamp,value from temperature limit 20");
 }

 public void finalProcessing() {                                ユーザが記述する部分(b)
  SQLProcessor sp = this.getSQLProcessor();
  sp.getSensorData("avg","SELECT sensortype,AVG(value) FROM key1");//(1)
  sp.reverseAsText("avg"); //(2)
 }
}
```

図 6　ユーザプログラム例

される getSensorData メソッドの問い合わせ結果で得られた全ての value に対し，平均値の計算を行うということを指定している．

また，そのデータをテキスト形式で返却するため (2) のように記述する．OK ボタンをクリックしてユーザエージェントを生成すると，Web ブラウザのクエリリストに WAIT と表示され，ユーザ制御命令の待ち状態となる．

ユーザプログラム記述後，マップ上にモバイルエージェントのマーカーが表示される．マーカーを選択して，移動命令をユーザエージェントに送信する．移動命令がユーザエージェントに通知されると，ユーザエージェントはデータ収集を開始する．

データ収集が終了し，ユーザエージェントが破棄されるとクエリリストのクエリ状態には FINISH と表示される．クエリリストをクリックするとデータ収集結果を時系列毎に閲覧でき，ユーザプログラムで返却を指定したデータ収集結果のテキストファイルをダウンロードできる．

5. 考　　察

X-Sensor 2.0 では，モバイルエージェントを用いたデータ収集システムに GUI を提供することで，直感的に操作を行える．また，ユーザエージェントに対する移動開始や中断などの操作をマップに表示されたユーザエージェントを選択して行え，不要なクエリの削除，一時中断などをインタラクティブに行える．しかし，現状のシステムでは，制約がある条件の

もとで Java のプログラムコードを記述することが基本となっており，専門的な知識が必要となる．今後は，モバイルエージェントとして実行可能なセンサデータの処理をより自然に表現可能な言語を定義し，容易に記述を行えるようにする必要がある．

また，通信コストに関して，今回，3 箇所のセンサネットワーク拠点を X-Sensor 2.0 に表示させて様々な操作を行ったが，ネットワークの遅延はそれほど大きくなく，ユーザエージェントを投入すると，データ収集結果がすぐに Web ブラウザに反映された．しかし，擬似的に 10000 個のセンサネットワーク拠点を表示させて実験したところ，センサネットワーク拠点のマーカーの表示に時間がかかり，CPU に Intel Core i7，メモリに 3GB を搭載する PC では，描画完了までに平均で 10.79 秒の遅延が発生した．これは，マーカー描画時にデータベースから全てのセンサネットワーク拠点のメタ情報の取得要求を行うため，Web ブラウザ上に大量のアイコンが表示されるためである．本システムで実装に用いている Virtual Earth における JavaScript のアイコン表示方式では，Web ブラウザに表示中のドキュメントに画像要素を挿入する操作のオーバヘッドが大きいため，大量のアイコンを表示する必要がある場合に処理時間が増大することも要因の一つであると考えられる．このため，マップ上に表示されているセンサネットワーク拠点のメタ情報のみの取得要求を行うように修正すると共に，地図サービスと HTML5 で新たに定義された Canvas とを組み合わせ，センサネットワーク拠点やモバイルエージェントを可視化する方法なども今後検討する．

6. ま と め

本研究では，モバイルエージェントの開発支援システム X-Sensor 2.0 の設計と実装を行った．従来のモバイルエージェントを用いたデータ収集や処理を支援するため，モバイルエージェントがどのセンサネットワーク拠点に配置されているかを可視化し，異なるセンサネットワーク拠点間でどのように移動させるかを容易に指定できるようになった．また，モバイルエージェントの処理状況に基づいた実行制御を Web ブラウザ経由で行える．このように，X-Sensor 2.0 を用いることで，モバイルエージェントを利用したアプリケーション開発における煩雑さを軽減できる．

今後は，より容易にユーザプログラムを記述できるようなスクリプト言語の定義やマップ上での操作や可視化に対する応答速度の向上に取り組む予定である．

謝　　辞

本研究の一部は NICT· 大阪大学共同研究「異種広域センサーネットワークの統合管理技術の研究開発および検証」による成果である．ここに記して謝意を表す．

参 考 文 献

1) Jinho Ahn: EFFECTIVE MECHANISMS CONSIDERING LOAD IMBALANCE OF SERVICE REPLICATION FOR DISTRIBUTED MOBILE AGENT SYSTEMS, *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, Vol. 2, No. 1, pp.123-129, 2009.
2) 義久智樹, 神崎映光, 原隆浩, 石芳正, 寺西裕一, 下條真司: 複数拠点統合型センサネットワークのためのモバイルエージェントを用いたデータ収集システム, 電子情報通信学会技術研究報告 (ユビキタスセンサネットワーク USN2009-2), pp. 147-151, 2009.
3) C. Buschmann, D. Pfisterer, S. Fischer, S. P. Fekete, and A. Kröller: SpyGlass: A wireless sensor network visualizer, *ACM SIGBED Review*, Vol. 2, No. 1, pp. 1-6, 2005.
4) M. Turon, J. Suh: MOTE-VIEW: A Sensor Network Monitoring and Management Tool, *In The Second IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors*, pp. 11-20, 2005.
5) S. Michel, A. Salehi, L. Luo, N. Dawes, K. Aberer, G. Barrenetxea, M. Bavay, A. Kansal, K. A. Kumar, S. Nath, M. Parlange, S. Tansley, C. van Ingen, F. Zhao, and Y. Zhou: Environmental monitoring 2.0, *In ICDE*, pp. 1507-1510, 2009.
6) K. Aberer, M. Hauswirth, Salehi, A: Infrastructure for Data Processing in Large-Scale Interconnected Sensor Networks, *In Proc. of the 8th International Conference on Mobile Data Management*, pp. 198-205, 2007.
7) S. Nath, J. Liu, and F. Zhao: Sensormap for wide-area sensor webs, *IEEE Computer*, Vol. 40, No. 7, pp. 90-93, 2008.
8) P. Gibbons et al: IrisNet: An Architecture for a Worldwide Sensor Web, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 2, No. 4, pp. 22-33, 2003.
9) Live E! ～ 活きた地球の環境情報 ～. available at http://www.live-e.org/.
10) X-Sensor Multi-WSN Testbed. available at http://www1.x-sensor.org/.
11) MSN Virtual Earth. available at http://virtualearth.msn.com/.
12) 吉田 幹, 奥田 剛, 寺西裕一, 春本 要, 下條真司: マルチオーバレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォーム PIAX, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp. 402-413, 2008.