

ユビキタス・センサネットワークによる環境情報視覚化の提案

専修大学ネットワーク情報学部 小室匡史 柳澤剣 綿貫理明
株式会社セントラルシステムズ 大西寿郎

情報技術は社会の問題解決手法であると考えられている。そこで21世紀の最重要テーマである環境問題に対して、情報の視覚化という観点に注目した。本研究は、センサを用いた環境情報とGPS(Global Positioning System: 全地球測位システム)を用いた位置情報の視覚化である。ここでは、環境情報の中でも温度と湿度を用いGoogleMapsAPIを利用して、環境情報と位置情報のマッピングをおこなった。具体的には、取得したデータをGoogleMaps上に表示し、エンドユーザに詳細な環境情報を提示することが可能となる。今後様々なセンサが電子機器に搭載されるため、多くのエンドユーザが本システムを利用することによって、これまでになく大規模環境情報ネットワーク構築の可能性を検討する。

Suggestion of Visualization of Environmental Information Using Ubiquitous and Sensor Networks

School of Network and Information, Senshu University Masashi Komuro, Tsurugi Yanagisawa, Osaaki Watanuki

Central Systems Co.,LTD Hisao Ohnishi

Information technology is considered one of the ways to solve social problems. So, my research team would like to focus on information visualization to deal with environmental problems, one of the most important themes for us in the 21st century. The purpose of this research is to visualize environmental information, using sensors and location information from Global Positioning System. By using temperature and humidity data, which are included in environmental information, we have conducted mapping for environmental information and location information, using GoogleMapsAPI. Specifically, it becomes possible to show end-users detailed environmental information on GoogleMaps by using the data we have gathered. From now on, if we install various sensors into electronic devices that many people use, our system will be able to develop unprecedentedly vast environmental information network, so that we can consider the possibility of building this system.

1. はじめに

総務省は、未来社会のために周辺環境を正確に感知・認識し、状況に適したサービスを提供するためにユビキタス・センサネットワークが不可欠であるとする。センサネットワーク技術の位置付けは、どこにいても、ネットワークや端末などを意識せず、ストレスなく利用できるものと考えられている。ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会は、健康・安全・農業や工業生産の確保のために、個人の生活におけるデータのみならず、工場や農場の施設環境管理のためのデータ、災害時の被害状況のデータ、気温・湿度・温室効果ガスなどの気象データなど諸々のデータセンシングをおこなうことを提言している[1]。これにより数兆円の経済効果を見込むと同時に、産業や一般市民の生活支援にも良い効果を期待で

きるとする。

水野ら[2]は、コミュニケーション形態が仮想空間と実空間を密接に連携させた情報共有空間を介したものへと急速に変化しつつあり、現実世界の状況認識のためのインタフェースとしてセンサが重要となることを述べている。状況の頻出パターンを分析することにより、次に発生する状況や行動パターンを推測しうるのでサービスの最適化や、進化するセンシングネットワーク環境にシステムが適応し、再構築化するためのフィードバックループを実現できるとしている。また、ネットワーク中のセンサの位置を特定するためのローカライゼーション技術に関して詳述している。

現在、地球温暖化など環境問題は、世界的にも緊急に対策を要する課題として浮上ってきている。月尾[3]は、情報通信技術(ICT)について、

生活の利便性を向上させるにもかかわらず、資源やエネルギーの消費を減少させるという従来技術とは反対の特性を有する史上最初の技術であることを指摘し、これを社会に本格的に導入することこそ温室効果ガスを削減する当面の有効な手段であると述べている。

NTT 環境エネルギー研究所[4]では、社会の問題解決を困難にしている原因として、人間の感覚では正確な現状把握が困難であることを挙げている。ヒトは五感によって自然情報を定性的に感じ取ることができるが、これは主観的で一人ひとり固有のものである。センサデバイスを利用することにより、自然環境の情報を数値化できる。すなわち、自然情報をセンサによって定量的なデータに変換し、誰もが同じ認識を共有することが可能となる。そのため環境をモニタリングして数値化するセンサと、そのデータを収集・蓄積・加工・発信する情報通信技術を組み合わせた“センサ+ICT”が社会の問題解決に有効である。NTT 環境エネルギー研究所は、二酸化窒素、オゾン、浮遊粒子状物質などのセンサに、地理情報システムを組み合わせる局所的な地域環境をモニタリングし、可視化するシステムを開発した。

当研究室においても温暖化対策プロジェクトを立ち上げ[5, 6]、情報技術を環境問題に適用してきた。一般に公開されている GoogleMapsAPI を用いて、大衆から広く環境に関する情報を集め、集合知を蓄積する仕組みを開発中である[7, 8]。地域で起きている状況を報告し合い、また環境改善のために実施していることや提言を Web の地図上に公開することができる。誰でも利用できる GoogleMaps を使用しているため、集団の環境に関する活動は地域性に捉われず、地球全体に広げることが可能である。この環境情報は Web にアクセス可能な全てのユーザが閲覧し、環境問題の提案に参加できる。今回 Web2.0 の技術とセンサデバイスを融合させることによって、新たな環境情報システムを提案する。

知識の共有をおこない多くのエンドユーザが環境問題の対策を推進しようとする側面は、これまで幾分軽視されてきた。そこで、Web2.0 の集合知を蓄積するという特長を活かして地球温暖化などの環境問題対策をおこなうことを提案する。環境対策には、一人ひとりの日常の心がけと実行が大切であるという大前提に立ち返る必要がある。物理的実世界の現状がセンサデバイスによって客

観的に把握され、人々が現実世界の客観的データを共有し、その上で広く社会から知識を集め集合知を形成することにより、実効力ある対応策創出の促進に繋がると考えられる。

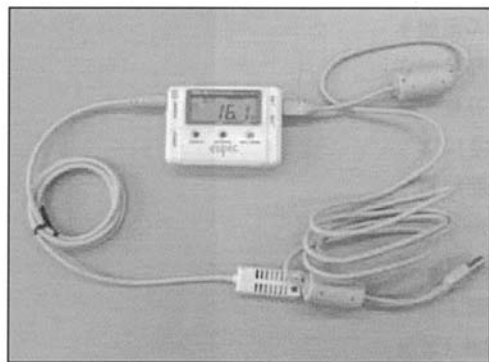
2. センサデバイス

当研究室では、ユビキタス時代に向けてセンサデバイスを使用したシステムの研究をおこなってきた。加速度計を使用して、ジェスチャ入力インタフェースを開発し、これをプレゼンテーションへ応用した[9]。本稿では、環境情報視覚化という観点から、センサを用いることにした。環境情報を取得するため、サーモレコーダーを使用し、温度と湿度の測定をおこなう。また、位置情報を取得するため、GPS(Global Positioning System：全地球測位システム)を使用し、緯度・経度の測定をおこなった。GPS から値を取得する際には、3 個以上の人工衛星からの信号により位置情報を算出する。更に、無線 LAN の接続が可能な環境では、IEEE802.11 を利用した Wi-Fi による経度・経度の測定をおこなった。

1) 環境情報

環境情報の計測には、ESPEC 社のサーモレコーダー-RS-12 (図 1 を参照) を使用し、温度と湿度の測定をおこなった。

図 1 温湿度計 (サーモレコーダー)



製品名：RS-12 (エスペックミック社製)

温度測定範囲：-60～155℃

湿度測定範囲：10～95%RH

記録データ量：8000×2 チャンネル

気温の測定例 (図 2 を参照)：

測定日時：2008 年 1 月 1 日 (24hours)

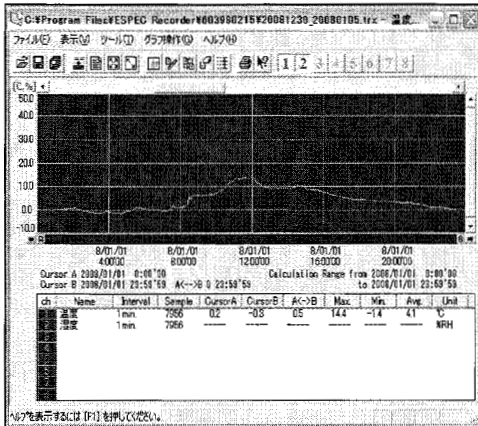
測定場所：東京都世田谷区成城 (屋外)

緯度：35 度 38 分 38.49 秒(35.644025),

経度：139 度 35 分 50.882 秒(139.597467)

データ数：1440 (1 分 1 回取得)

図2 気温の測定例

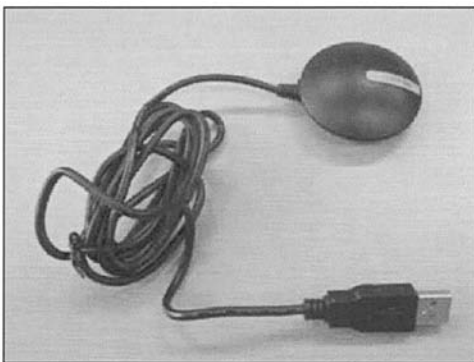


位置を固定し時系列データとして測定を継続することにより、1日の気温変化、1年の気温変化、そして10年以上の長期的な変動を捉えることができる。また、データ取得間隔の制御が可能であるため、連続取得時間に合わせたデータ間隔の設定を利用者自身がおこなうことができる。

2) 位置情報

位置情報の計測には、GlobalSat社のGPS BU-353(図3を参照)とKoozyt社のPlaceEngineを使用し、緯度・経度の測定をおこなった。

図3 GPS (全地球測位システム)



製品名: BU-353 (GlobalSat 社製)

測位: 並列 20 チャンネル

精度 (単独即位) 位置精度: 10m (2DRMS)
速度精度: 0.1m/秒

精度 (WAAS/EGNOS)

位置精度 (水平): 5m (2DRMS)

※無線 LAN 接続が可能な場所

製品名: PlaceEngine (Koozyt 社製)

精度: 約 5m~100m

URL: <http://www.placeengine.com/>

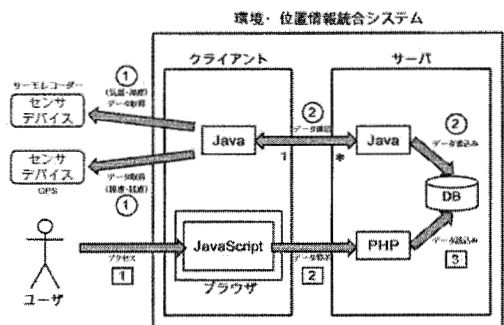
3. 環境・位置情報統合システム

本研究では、環境情報視覚化という観点から、環境情報と位置情報のマッピングをおこなう環境・位置情報統合システムを開発した。

3-1 システム概要

本システムのデータ投稿部分は、主にJava言語によって実装をおこなった。また、ユーザとのインタラクションをおこなうデータ表示部分は、Ajax (Asynchronous JavaScript + XML) を用いたGoogleMapsを使用した。ブラウザとデータベース (DB: Database) の媒介としては、PHP (Hypertext Preprocessor) を利用している。本システムの概略を示すと以下の図4となる。

図4 環境・位置情報統合システム概略図



※○: データ投稿のプロセス

※□: データ表示のプロセス

本システムは、データ投稿のプロセスとデータ表示のプロセスが存在する。データ投稿のプロセスとは、クライアントがセンサーデバイスから環境情報と位置情報を取得して、サーバとデータ通信をおこない、データベースに格納する、というものである。データ表示のプロセスとは、ユーザがブラウザにアクセスして、GoogleMaps 上に表示されている環境情報と位置情報を閲覧する、というものである。前者のプロセスは、センサーデバイスを搭載している端末等を所持しているユーザのみ実行可能であるのに対して、後者のプロセスはブラウザによる閲覧環境にある全てのユーザが実行可能である。このことによって、投稿データに関する信頼性の向上をおこない、誰でも閲覧できる情報共有できる Web2.0 のコンセプトを活用した環境構築が可能となった。

次に、本システムにおいてクライアントサーバ (Client-Server) モデルを採用することにした経緯について説明をおこなう。クライアントサーバとは、システムに関する部分をサーバサイドで、

インタフェースに関する部分をクライアントサイドでおこなうことによって、処理の役割分担が可能である。ここでは、サーバがクライアントからの接続要求を常に待っている。サーバが指定したポート番号に対しクライアントがアクセスすることによって、データ送信を開始することができる。更に、複数のユーザが同時にサーバへアクセスをおこなった場合にも並列並行処理が可能ないように、分散情報システムによるマルチスレッドプログラミングによって実装をおこなった。具体的には、分散情報システムを構築することによって、物理的に離れた複数の場所で処理をおこなうことを可能にした。このことによって、多重度の関係で考えた場合、一つのサーバに対して、複数のクライアントの処理をおこなうことができる。本システムをマルチスレッドで実装することによって、平行性を持つ事柄を同時に実行する並列実行を可能にした。

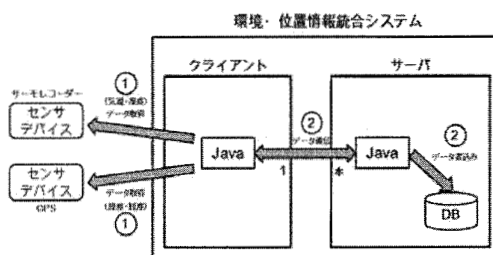
また、ユーザとシステムのインタフェースに関して説明をおこなう。ユーザとシステムとのインタフェースは、GoogleMapsを採用している。最大の理由は、環境情報と位置情報のマッピングが比較的容易であるという理由が挙げられる。具体的には、GIS(Geographic Information System : 地理情報システム)の中でもAPI(Application Program Interface)が数多く公開されているためである。そして、多くのユーザが利用する機会があり、馴染み易いユーザインタフェースを踏襲している点からも有用性が高いと考えた。更に、データ投稿とデータ観覧に関する一連のプロセスの連動が比較的容易であったという点も挙げられる。仮に、データ投稿をおこなったユーザのみが、観覧することが可能なシステムを構築してしまうと、観覧ユーザが著しく制限されてしまう。本システムは、可能な限り多くのユーザが利用することにより情報量が増加するため、ユーザ間の情報共有によるシナジー効果が期待できる。

以上のことから、多くのユーザが利用可能なユビキタス・センサネットワークによるシステム構築を目指したため、並列並行性を重視することにした。このことによって、数多くの処理を同時におこなうことが可能となり、リアルタイムで多くの環境情報をユーザに提示することが可能となる。2-2 ではマルチスレッドとクライアントサーバの工夫点、2-3 ではインタフェースの工夫点に関して詳細に述べていく。

3-2 投稿プロセス

ここでは、環境情報視覚化システムの中でもデータ投稿プロセスに関する説明をおこなう。これを端的に示したものが図5である。マルチスレッドに関する説明と、クライアントサーバに関する説明を基に解説していく。

図5 環境情報視覚化システムにおけるデータ投稿プロセス



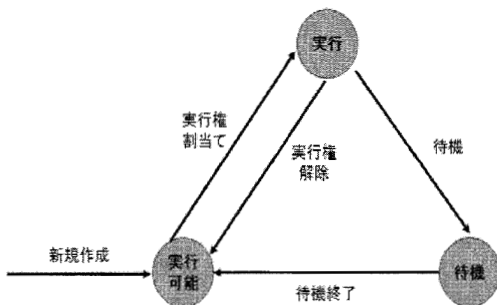
3-2-1 マルチスレッド

本システムでは、ユビキタス・センサネットワークの分散並行並列処理を追求するためにマルチスレッドによるシステム実装をおこなった。分散には、リソースの分散と実行効率（負荷分散や並列処理）の分散が存在する。ここでは、実行効率に関する並列処理に注目した。次に、並行性と並列性に関する説明をおこなう。並行性とは、複数のタスクを実行する際に、同時に実行しても各々実行しても最終結果が変わらない性質のことである。また、並列性とは、複数のタスクを実行する際に、同時に実行できる性質のことである。並行並列性を実現することによって、複数のクライアントの処理を同時におこなうことが可能になった。例えば、クライアントAとクライアントBから同時刻に、環境情報と位置情報に関する投稿があった場合にも、サーバがクライアントAとクライアントBの処理を同時におこなうことが可能である。このことによって、複数の処理を同時におこなうことができ、クライアントの待ち時間を大幅に短縮することができる。

次に、スレッドの概念について定義をおこなう。スレッド (thread) とは、プログラムの最小並列実行単位のことである。具体的には、待機状態・実行可能状態・実行状態の3つに分類される。新規作成時は必ず実行可能状態から始まる。実行可能状態は、実行権の割当てをおこなうことによって、実行状態へと移行する。また、実行状態は、実行権の解除によって、実行可能状態へと移行し、待機をおこなうことによって、待機状態へと移行

する。そして、待機状態は、待機終了によって、実行可能状態へと移行する。スレッドの状態変化を示したものが図6となる。

図6 スレッドの状態変化



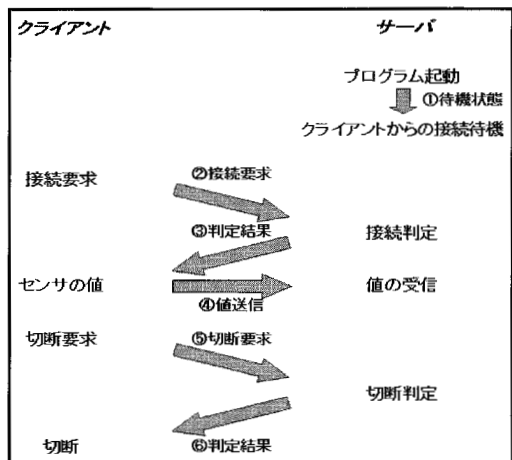
更に、Java 言語におけるマルチスレッドプログラミングの解説をおこなう。Java 言語のスレッド作成方法は、Thread クラスによる継承と Runnable インタフェースによる実装の2種類が存在する。ここでは、Java 言語が単一継承であるという特徴を活用するために、簡易的な Thread クラスによる実装をおこなった。また、排他制御を実現するために、ブロック単位による同期が可能な Synchronized 修飾子を用いることにした。Java 言語における排他制御は、オブジェクトを単位としておこなうモニタによって、タスクが処理されている。ある地点で Synchronized メソッドを実装しているスレッドは、そのモニタを所有している。このように、ライブラリの充実している Java 言語は、本システムを実装する上で有効なプログラム言語である。

以上のことから、本システムは、クライアントが複数存在している場合にも、並列並行処理をおこなうことができる。このことは、リアルタイムに複数同時処理を求めるユビキタス・センサネットワークにおいて非常に重要なことである。ここでは、センサデバイスを用いて事前に環境情報と位置情報の関するデータの収集をおこない、同時に複数のクライアントの処理をおこなう実験を試みた。その結果、環境情報と位置情報を同時に並列並行処理して、データベースに格納した後、これらのデータが正常に表示されることが確認できた。今後は、複数のクライアントに各々センサデバイスを接続して、リアルタイムで無線による情報送信をおこなう実験を進めていく方針である。このリアルタイム性の追求こそが、マルチスレッドを最大限活用する意義である。

3-2-2 クライアントサーバ

本システムにおけるクライアントサーバの動作の流れとしては、次のようなものである。サーバがプログラムを起動して、特定のポート番号を開きクライアントからの接続を待つ待機状態になる。そして、クライアントからサーバへ接続要求がおこなわれたら、サーバがポート番号等の確認をおこない値が適切であればコネクションを許可する。コネクションの許可後に、クライアントは、環境情報と位置情報の値を取得する（位置情報に関しては、GPS の精度を考慮して今回はコマンドラインによる数値入力を採用した）。クライアントは、取得したデータをサーバに送信する。その後、切断要求がおこなわれるまで、同様の動作を繰り返す。この一連のプロセスを纏めたものが図7となる。

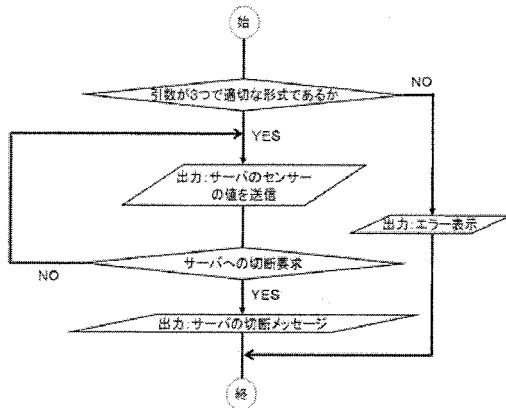
図7 クライアントサーバの動作プロセス



次に、クライアントとサーバの役割について説明をおこなう。クライアントは、引数を3つとした。第1引数をホストのIPアドレス、第2引数をポート番号、第3引数をキャラクターネームとして扱っている。これらの値をサーバに送信することによって、正しい入力値であれば、センサデバイスのデータ取得をおこなう。取得するデータとしては、位置情報として経度・緯度に関するデータを用いる。環境情報として、温度・湿度における最高値・最低値とその時間、更には平均値に関するデータを用いる。これら全てのデータをサーバに送信する。データの送信が完了し、サーバとの切断をする場合には、クライアントがサーバに対して切断要求をおこなう。サーバから切断要求に関するメッセージが送信され、サーバとの切断が完了する。この過程をフローチャートによ

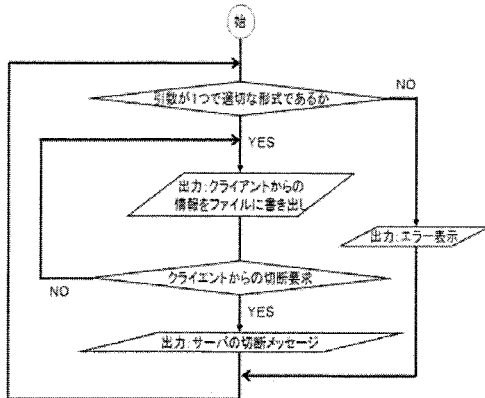
て示すと図8となる。

図8 クライアントのフローチャート



また、サーバは、引数を1つとした。第1引数をポート番号として扱っている。サーバ起動時には、クライアントからの接続要求を常に待っている状態にする。クライアントからの接続要求があった場合には、ポート番号等の値が適切な形式であるか、という判定をおこなう。クライアントが適切だと判断できれば、クライアントから環境情報と位置情報に関するデータ受信をおこない、クライアントのユニークなIDと投稿時間などの情報を加味して、データベースにデータの書き出しをおこなう。その後、クライアントからの切断要求を待って切断をおこなう。仮に、複数のクライアントから同時に接続があれば、マルチスレッドによって並列並行処理をおこなう。このことによって、システム規模が拡大した場合にも、多くのユーザの処理を同時におこなうことによって、リアルタイム性を実現することが可能となる。この過程をフローチャートによって示すと図9となる。

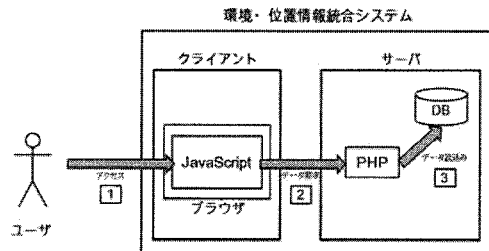
図9 サーバのフローチャート



3-3 表示プロセス

ここでは、環境情報視覚化システムの中でもデータ表示プロセスに関する説明をおこなう。これを端的に示したものが図10である。環境情報の視覚化という観点から、表示方法に関する説明と、分類方法に関する説明を基に解説していく。

図10 環境情報視覚化システムにおけるデータ表示プロセス



3-3-1 表示方法

センサデバイスから取得した情報をJavaがデータベースに書き込む際、図11のような形式でデータが格納される。

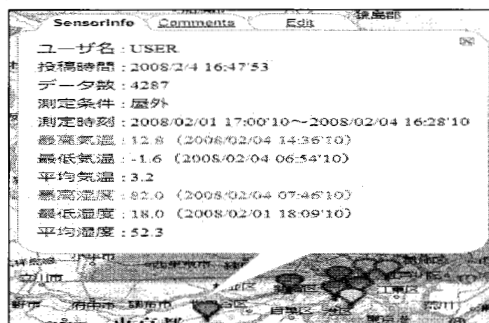
図11 データ格納例

ファイル名	"35.644025_139.597467"
ID	"1"
ユーザ名	"USER"
投稿時間	"2008/2/4 16:47'53"
緯度	"35.644025"
経度	"139.597467"
データ数	"4287"
測定条件	"屋外"
開始時刻	"2008/02/01 17:00'10"
終了時刻	"2008/02/04 16:28'10"
最高気温	"12.8"
最高気温観測時刻	"2008/02/04 14:36'10"
最低気温	"-1.6"
最低気温観測時刻	"2008/02/04 06:54'10"
平均気温	"3.2"
最高湿度	"82.0"
最高湿度観測時刻	"2008/02/04 07:46'10"
最低湿度	"18.0"
最低時刻観測時刻	"2008/02/01 18:09'10"
平均湿度	"52.3"

センサデバイスから送信されるデータは大きく分けると、識別番号、投稿情報、測定情報、位置情報、環境情報(温度・湿度)がある。これらの情報をGoogleMaps上に表示する際には、ファイル名・IDと緯度・経度を除いた全ての情報を出力

する必要がある。データベースにデータを格納する段階においては、一種のバッチ処理によって更新する手法をとっている。仮に、GoogleMaps上に環境情報を表示させるだけでは、更新時刻に差異が生じるため、返って見難いものとなってしまう。従って、表示する際には、一貫したデータを基準に表示形式を変える工夫をおこない、尚且つ直感的に理解でき、見やすい形式にする必要がある。この問題に対しGoogleMaps上には、その地域におけるリアルタイムの気温を基準にするのではなく、平均気温を基準にしたバルーン形の画像（以下、Marker）を立てることにした。更に、湿度など他の数値情報は、そのMarkerと対になる吹き出し内に収納し、折りたたむことで、可能な限りユーザインタフェースの良い外観となるように配慮した。また、GoogleMaps上にMarker以外の数値情報を表示することを避けた。このことによって、本システムのユーザはMarker色によってその位置の温度を判断でき、詳細な情報を確認したい場合はそのMarkerをクリックすれば良い。ここでは、環境問題の中でも地球温暖化に関する温度情報に注目し、ユーザが想像しやすいと考えられる平均温度を基準として表示をおこなっている。図12に表示形式の例を示す。設定次第では湿度など他の環境情報を基準にして表示をおこなうことも可能である。

図12 GoogleMapsにおける環境情報表示例



また、温度・湿度といった数値情報の他に、これらのデータを提供したユーザ自身が、データを送信した後にコメントを書き込むことが可能なシステム構築をおこなっている。地図へのMarker表示は、広い範囲で分散して投稿・表示されるよりも、狭い範囲で纏まって投稿・表示される方が、その地域の温度と湿度情報の信憑性が増し、より信頼性の高い情報となる。このことからMarker数が多い程、本システムのコンテンツが充実する

ことに変わりはないが、数が増えるにつれてレスポンスが悪化するというトレードオフの関係が生じる。これは表示にJavaScriptを用いているため、ブラウザが負担する処理量がデータ量に応じて変化する。本システムでは、この問題への対処法として、Marker数によって読み込むデータ量を増減させる処置を取っている。

3-3-2 分類方法

Marker色によって温度を確認できるようにした。具体的には、平均気温を対象に、温度が高くなるにつれて赤を濃くし、温度が低くなるにつれて青を濃くしたMarkerを使用して、5°C区切りでMarker色を変えて表示する。

今回、東京都内を対象に実際の正確なデータを収集するため、2008年01月14日の新宿、永田町、飯田橋、大手町、浅草、上野、秋葉原、新橋（いずれも駅周辺）における環境情報と位置情報の計測を、センサデバイスを使っておこなった。同時刻における各地の観測結果を回収するには至らなかったものの、今回の調査によって本システムが本格的に稼動した場合の具体的な状態を得ることができた。図13は、各地の平均気温を対象にしてデータを表示している様子である。

図13 GoogleMapsにおける等高線表示例



※青色：0°C～4.9°C，水色：5.0°C～9.9°C

更に、ここでは温度帯域ごとにMarker色を変更する処理に加えて、温度帯域ごとに線を引き、色を描くことができるアルゴリズムを追加した。このことによって、環境情報の視覚化という点において本システムの効果が発揮される。また、本システムはMarker（点）によって各地域の気温に関する判断をおこなっているが、滑らかな等高線（面）によって気温が表示されることになれば、投稿されていない地域の温度情報までカバーされることにつながるため、既存のデータをより一層効果的に利用することが可能となる。

4. おわりに

本研究を通して開発された環境・位置情報統合システムによって、環境情報視覚化という点では一定の成果を挙げたといえる。しかしながら、センサデバイス等の制約により、複数のセンサデバイスを同時に接続して実験をおこなうことはできなかった。実際に、接続センサデバイスを増やしても、システムをマルチスレッドによって構築しているため、複数のユーザ処理を並列に実行することは論理的に可能である。また、本稿では、情報の収集に関して USB 接続を用いた有線によるデータの取得をおこなった。今後は、ユビキタスを意識して無線によるデータの取得へと移行する。

現在、センサデバイスには、小型軽量化かつ高性能化というトレードオフの難題に直面しているが、この問題の解決に向けて弛まぬ研究がおこなわれている。今後、一層センサデバイスの小型軽量化、低価格化、高性能化、無線化が進んでいく。その結果、携帯電話などの各種端末にこれまで以上にセンサデバイスの搭載が期待でき、ハードウェアの改善は一段と進んでいく。これに対して、ソフトウェアの改善としては、セキュリティの問題が挙げられる。センサデバイスをネットワークに接続可能な各種端末に搭載することによって、多かれ少なかれ情報がネットワーク上に流れる。利便性と安全性を十分に配慮して、ユーザが効果的かつ効率的に利用できるものでなければならない。このことから、センサネットワークに関する研究は非常に重要な分野であり、ユビキタス・ネットワーク社会におけるセンサネットワーク技術の発展に併せ、本システムも改良を続けていく。

また、本年7月には、主要国首脳会議である洞爺湖サミットが開催される。そこでは、地球温暖化対策を含めた環境問題に関する議論もおこなわれる。今後、ポスト京都に向けた温室効果ガスの具体的削減目標に関する動きが高まり、環境問題に関する世界的な取組みが促進される。従って、これまで以上に環境問題に関する話題は社会でも議論される機会が増加する。環境問題に関する状況把握の観点からも、定性的では無く、定量的な客観的データが重要視されることは確実である。

近い将来、ユビキタス・ネットワーク社会を迎える。これは、インターネットによる情報革新に匹敵若しくはそれ以上の社会変化をもたらす。環境データを客観的に測定し視覚化することにより、環境に関する情報共有が促進され、21世紀の最重

要テーマである環境問題に有効な施策が提案されることを期待し、今後も本研究を継続していく。

5. 参考文献・参考WEBサイト

- [1] 総務省、『「ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会」の開催』, 2004/03/05, http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040305_8.html#b
- [2] 水野忠則, 峰野博史, 「情報共有空間のためのセンサコンピューティング」, 情報処理 (特集: 社会の未来を拓くネットワーク情報共有空間), Vol.48, No.2, pp.135-141, February, 2007
- [3] 月尾嘉男, 「総論—環境問題へ挑戦する情報通信技術」, 電子情報通信学会誌 (特集: 環境を守る), Vol.90, No.11, pp.930-935, November, 2007
- [4] 中村二郎, 丸尾容子, 小川重男, 「ユビキタスセンシングによる環境の可視化」, 電子情報通信学会誌 (特集: 環境を守る), Vol.90, No.11, pp.942-948, November, 2007
- [5] 志賀直幸, 青木豊, 竹口正修, 柳澤剣, 小室匡史, 綿貫理明, 吉野昭郎, 田中洋史, 大西寿郎, 「地球温暖化に関する意識調査とその集計処理システム—産学連携によるシステム開発—」, 専修ネットワーク&インフォメーション, No.13, March, 2008
- [6] 深井雄大, 高塩真広, 柳澤剣, 小室匡史, 綿貫理明, 大西寿郎, 「ビッグバンから未来にいたる“地球温暖化”物語の創作—Maya8.5を利用した3Dグラフィックコンテンツの制作—」, 専修ネットワーク&インフォメーション, No.13, March, 2008
- [7] 専修大学地球温暖化対策プロジェクト, <http://www.ne.senshu-u.ac.jp/~proj19-21/contribution/>
- [8] 柳澤剣, 小室匡史, 綿貫理明, 大西寿郎, 「集合知を利用した環境情報システム—地図情報と環境情報のマッシュアップ—」, 第103回情報システムと社会環境研究発表会, March, 2008
- [9] 永作智史, 西村香菜, 丸山修一, 松永賢次, 綿貫理明, 「ジェスチャー入力インタフェースの開発とプレゼンテーションへの応用」, 情報処理学会研究報告, 2006-IS-95, pp.85-92, March, 2006 付記

本研究は、株式会社セントラルシステムズからの平成19年度受託研究「Web2.0技術の環境問題への適用と視覚化に関する研究」によってなされたものである。