



センサネットワークの 新たな展開を目指して

～Live E! Workshop in APNG Camp 活動報告～

落合秀也 ■ 東京大学 / NICT 松浦知史 ■ 奈良先端科学技術大学院大学 / NICT 山内正人 ■ 慶應義塾大学

2008年8月、アジア地域の約20カ国から研究者が100名程度集まるAPNG Campにて、Live E! 広域センサネットワークのワークショップを開催した。本ワークショップでは、気象センサ20台に実際に触れ、ネットワークによって可能になった遠隔地のセンサデータ収集、オーバーレイネットワークによる分散的データ管理手法、災害対策などへの応用について議論を行った。ワークショップで利用したセンサは、15カ国に配布され、今後、Live E! センサネットワークの中で運用されることになっている。今回の国際展開を通じて、広域センサネットワークに対する運用や活用事例などの経験値を多様化させ、将来的に産業界を巻き込み、さらなる展開へのステップにしたいと考えている。

APNG Camp と Live E! プロジェクト

■ アジアにおける研究者交流の場

Asia Pacific Networking Group (APNG)¹⁾ は2008年8月にタイのアジア工科大学 (AIT) にて10回目の合宿 (Camp) を開催し、アジア各国から100名を超える研究者を集めた (図-1)。合宿はアジア地域で毎年開催され、インターネットを核とした技術・文化に関する発表や議論を行っている。APNGではこれらの活動を通して、各国の研究者間で連携を深め、アジアおよびグローバルスケールで活躍できる人材を育成する場を提供している。筆者らの活動するLive E! 広域センサネットワーク開発のプロジェクトもAPNG Campに参加し、各国の技術者との交流を持っている。

■ Live E! プロジェクト

Live E! プロジェクト²⁾ は2005年に発足した広域センサネットワークの研究開発に関するコンソーシアムである。センサによってデジタル化されたあらゆる環境データを、ネットワーク技術を使って共有することにより、新しいオープンな情報プラットフォームの実現を目指している。

従来のセンサシステムは、独自のデータ形式や方法で管理しているため、観測された環境データは、特定の用途でしか活用されず、いわば消滅していく運命にある。もし、この環境データを標準的な方法で表現し、関心のある仲間と共有することができれば、こうした環境デー

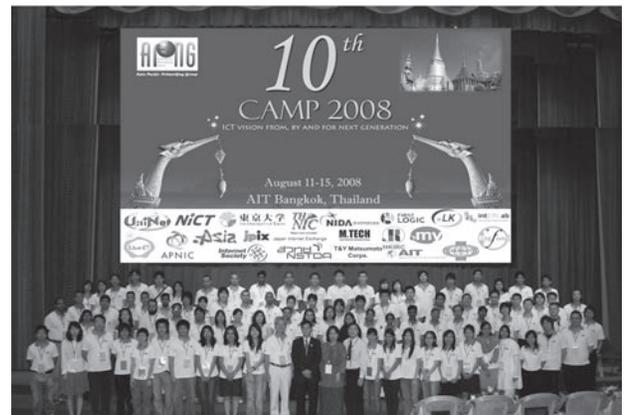


図-1 第10回 APNG Camp 全体集合写真

タの再利用が進むことが考えられる。このような情報基盤の上には、新たなビジネスの創出も促す可能性もある。

Live E! では環境データの共有基盤を開発し、すでに分散的な形態でシステム運用を行っている。2008年9月現在、Live E! システムは10台のサーバにより分散的に運用され、世界中に設置されたおよそ100台のセンサ (図-2) により観測されたデータがリアルタイムに投入されている。

これらのデータは、プロジェクトのメンバであれば自由にWebサービスにより読み出し可能である。プロジェクトでは、この機能を利用した実生活にかかわる用途へのアプリケーション開発も行っている。センサデータは、環境情報に敏感なビジネスのほか、自治体での災害対策や教育活動などでも利用される。ビルや校舎などに

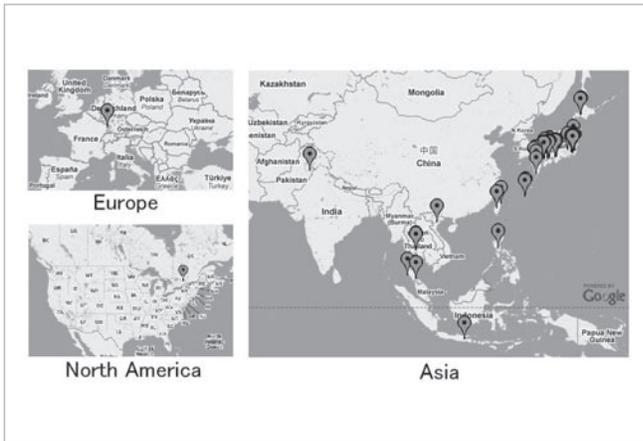


図-2 2008年9月現在のセンサ展開の様子

敷設されたファシリティ・ネットワークと連携し、機器情報のモニタリングおよび省電力化などに活用する計画もある。

■ 経験値の多様化を目指して

広域センサネットワークを充実させる上ではアプリケーションや、運用経験に多様性を持たせることは重要である。Live E! は国際展開を通じて、将来的にこれらの多様性を獲得することを目指した。世界は想像以上に多様であり、その中に Live E! の技術を投じることは、新た

な発明や発見の手がかりとなる。また、今後 Live E! システムを持続的に維持するためには、ビジネスフェーズに乗せることが必須となるであろう。その点においても、これは重要なステップであると考えている。さらには、国際的な運用拠点をすることは、今後の広域センサネットワークシステムの標準化に向けた準備につながることもできる。

我々にとって APNG Camp の場を借りてワークショップを開催することは、アジア地域の研究者たちに Live E! のコンセプトをアピールし、Live E! の運用拠点を立ち上げるようにお願いできる絶好の機会であった(図-3)。また APNG Camp にとっても、Live E! のワークショップにより、研究者に対して刺激をもたらし、APNG Camp 自体を充実させる効果があった。彼らは IT 技術を各国の事情の中で活用していくことを考えており、Live E! のセンサ情報基盤技術を用いることによる、自然災害や環境汚染への対策などに興味を抱いていた。

Live E! 広域センサネットワーク技術

Live E! プロジェクトでは、広域センサネットワークの研究開発を行っている。インターネット上にセンサデータを共有する基盤を構築して、各種センサ・アプリケーション(後述)の展開および活用のためのテストベッドと



図-3 Live E! ワークショップ開催の様相

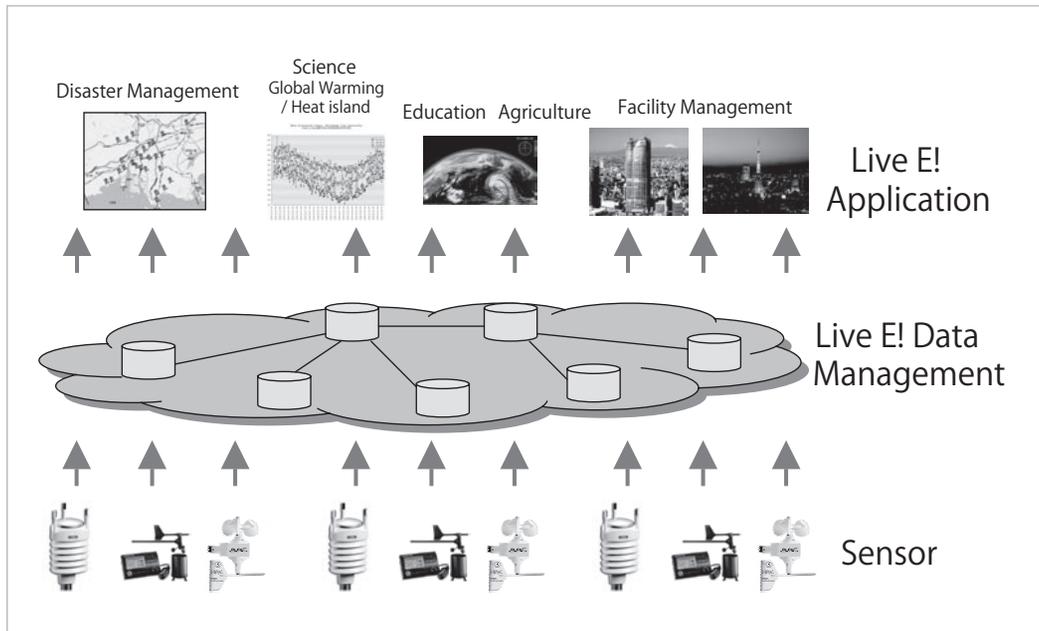


図-4 Live E! システム・アーキテクチャ

して、現在まさに運用中である。

図-4にLive E!のシステム・アーキテクチャを示す。(1) センサ、(2) データ管理システム、(3) アプリケーションで構成されており、観測データはセンサからデータ管理システムを通じて、アプリケーションに提供される。

■ センサ

センサは、あらゆる場所に設置されることが想定され、インターネット接続性を持ち、あらゆる環境情報をデジタル化して、データ管理システムに送る。センサが観測するデータは、特定のものに限られてはならず、任意の物理量データを対象とする。現在のLive E!では、気温、湿度、気圧、雨量、風向、風速といった気象の基本的要素になるデータのほか、CO₂濃度データも集めている。シリアル通信などでデータを読み出すタイプのセンサが多く、データをインターネット経由で収集するために、ネットワーク接続可能な組込み機器を用いて、サーバに定期的にデータ送信する構成をとっているものが多い。

■ データ管理システム

データ管理システムは、Live E!の基盤となるシステムであり、インターネット上に分散的に構築されている。センサが観測したデータを受け取り、アーカイブするとともに、リアルタイムにこれらのデータをアプリケーションに提供する。データ管理システムは、複数のセンサ運用組織によって自律分散的に実現される情報プラットフォームである。組織間接続にはインターネットが用い

られ、システム全体は、オーバレイネットワークとして構築される形態となる。

図-5に、データ管理システムの構成を示す。センサを運用する組織がそれぞれサーバを設置し、サーバ間接続を設定することで、Live E!広域センサネットワークが構築される様子を示している。ユーザ・アプリケーションはセンサデータをこの分散環境の中から検索して読み出すことができる。これがすなわち、組織間でのデータ共有の実現である。

Live E!サーバのソフトウェアはJava言語で組まれている。データベースにはPostgreSQLを使用し、サーバ間通信はWebサービスにより行われる。ソフトウェアはLive E!プロジェクトから無償で提供されており、ダウンロードしてインストールすれば、新たなオーバレイネットワークのノードとして、参加することができる。ソフトウェアはオープンソースである。

■ アプリケーション

アプリケーションは、データ管理システムから読み出したデータを、多くの分野に活用するための、いわば人間生活に最も近い部分である。台風等の従来型の災害対策領域はもちろんのこと、ゲリラ豪雨のような都市型災害の分析と対策、大気汚染の実態把握、路面状況（凍結等）のピンポイント予測、コンビニエンスストアなどへのビジネス展開、ファシリティ・ネットワークでの省エネ制御、小中学校での教育利用などが期待され、実際にいくつかの領域では展開が進んでいる。ビジネスとして展開が進みやすいのもこの領域だと考えられる。以下、

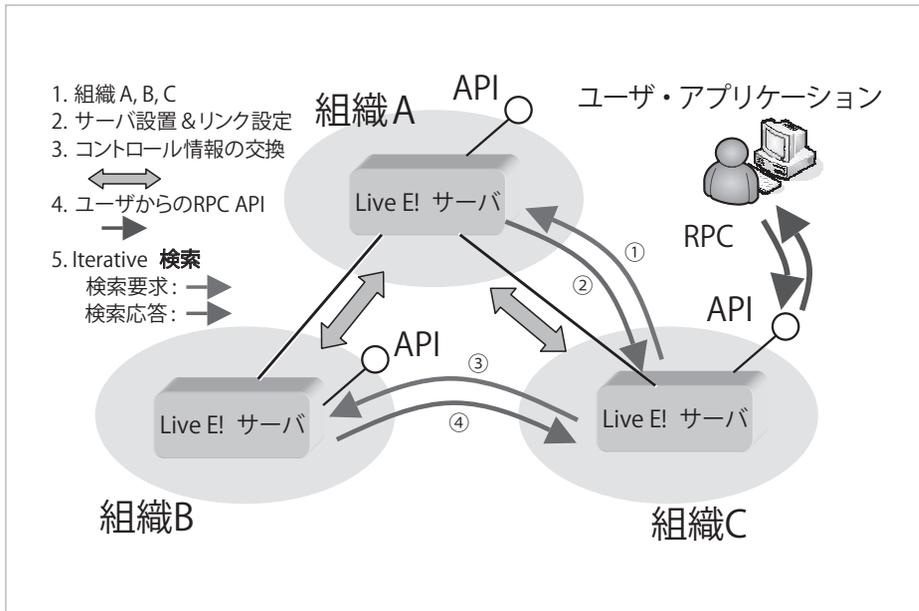


図-5 データ管理システムの構成. 複数の Live E! サーバが協調し合い, 組織間でデータ共有が行われる.

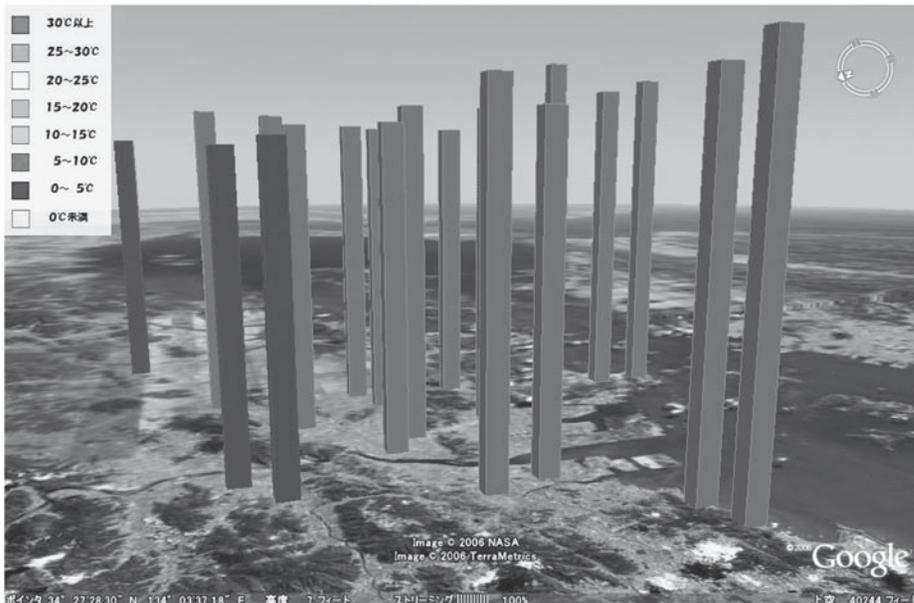


図-6 岡山県倉敷市に設置されたセンサ網

いくつかの事例を紹介しよう。

岡山県の倉敷市では、市の中学校に設置されたデジタル百葉箱から観測されたデータを、市の防災の参考情報として活用している。26個のセンサが、約25km×25kmの範囲に設置されており(図-6)、局所的な雨を逃すことなく観測可能な状況にある。

倉敷市のセンサは、自然災害対策だけではなく、空間局所的なデータ統計を取るためにも活用されている。雨が降り始めたら、メールで知らせるなどの生活密着型のアプリケーションも登場して、成果を挙げている。

広島市立大学に設置されたCO₂センサからは、年間のCO₂濃度の変動が観測された(図-7)。このようなデ

ータをグラフ化し、教育の現場で活用しようとする試みが広島大学、広島市立大学を中心に行われている。

Live E! ワークショップでの挑戦

APNG Campの中で、Live E! ワークショップのための時間が3時間与えられた。ワークショップでは、実物のセンサノード20台を用いて、グループ単位で行うチュートリアル形態をとった。参加者約80名を、4,5名で構成される20のグループに分けた。センサの設定からデータ閲覧方法など、Live E!のセンサ運用の基礎を学習した。ワークショップで使ったセンサノードは、事

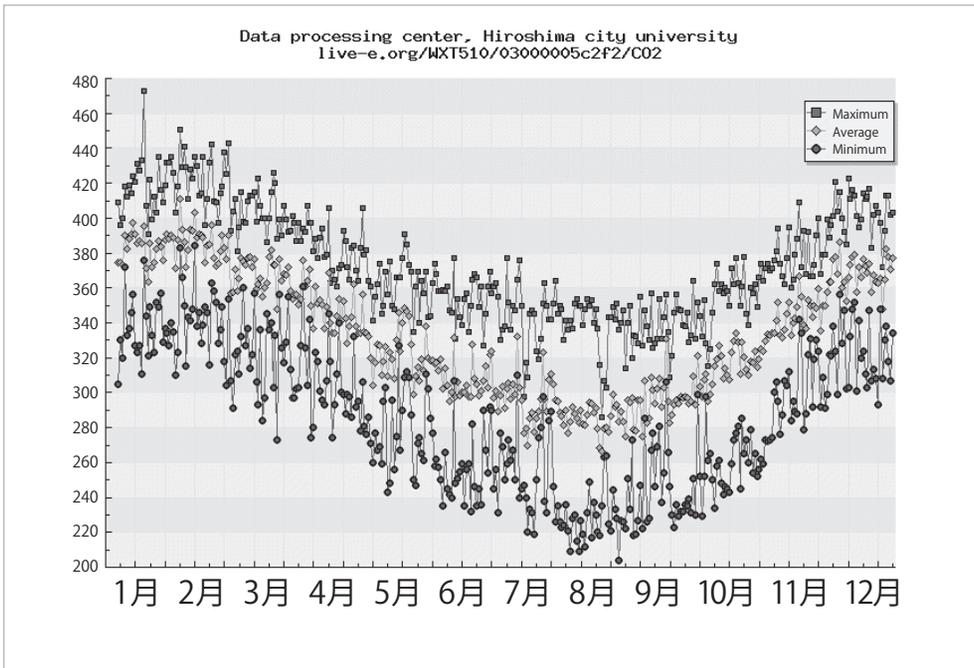


図-7 CO₂濃度の年間変動(広島市立大学2006年)。北半球が緑で覆われる夏は、CO₂濃度が低くなり、冬にはCO₂濃度が高くなることを読み取れる。

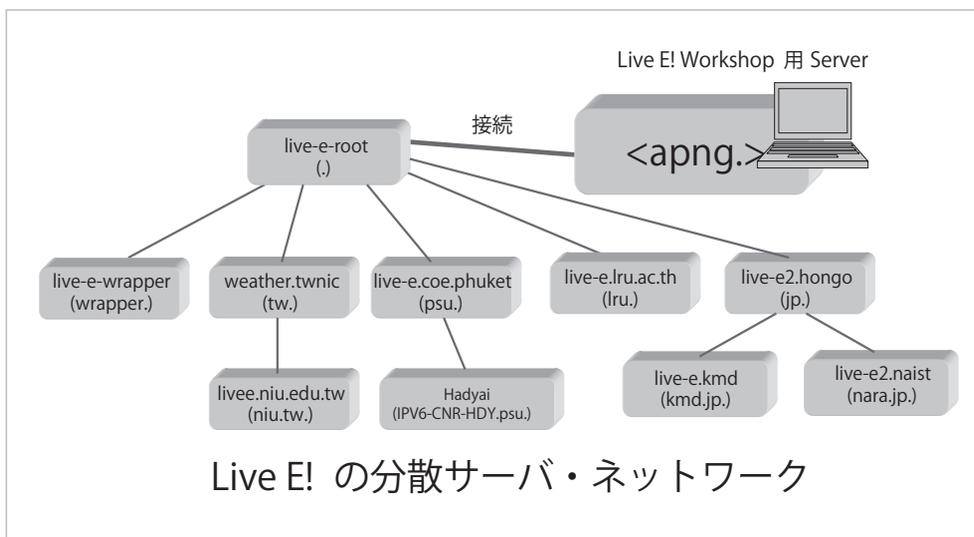


図-8 ワークショップ期間中のLive E! オーバレイネットワークトポロジ。Live E! サーバ<apng.>が今回ワークショップ期間中にアジア工科大学で運用されたサーバである。

前に申請のあった参加者に寄付されることになっていた。センサを持って帰ってから自力で設置することができることを最優先にワークショップのシナリオを構成した。

■ワークショップ・システムの構成

Live E! のネットワーク (10 台の分散サーバで運用されていた) に、新たに 1 台のサーバを接続し、これをワークショップで利用する Live E! サーバとした (図-8)。各グループが持つ気象センサは、アジア工科大学の無線 LAN に接続され、センサデータは、IP ネットワークを介して Live E! サーバにアップロードされる構成とした (図-9)。気象センサは、Linux (OpenWRT) によりホストされ、SSH でログインして設定を行う仕組みとなっ

ている。

■ワークショップの進行

Live E! ワークショップは、次のスケジュールで進行した。

1. Live E! の概要解説
2. チュートリアルの内容解説とセンサ配布
3. チュートリアル
 - (ア) 無線ネットワーク接続設定
 - (イ) Live E! データアップロード設定
 - (ウ) アップロードデータの確認と閲覧

参加者は、気象センサに SSH でログインし、アジア

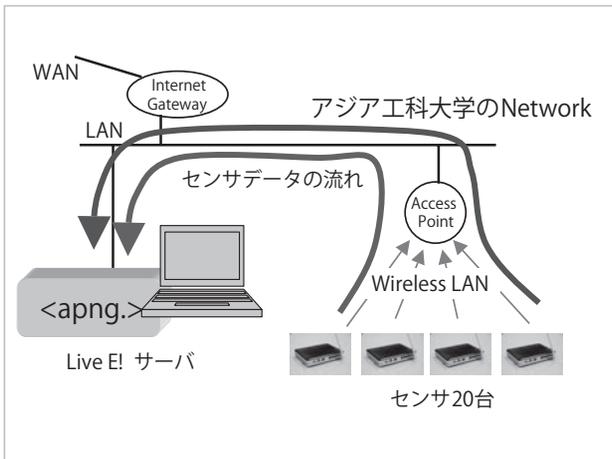


図-9 アジア工科大学での Live! システム構成

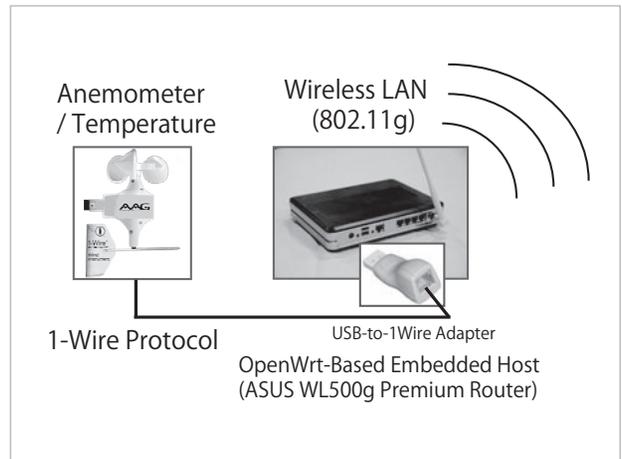


図-11 ワークショップで用いたセンサノード

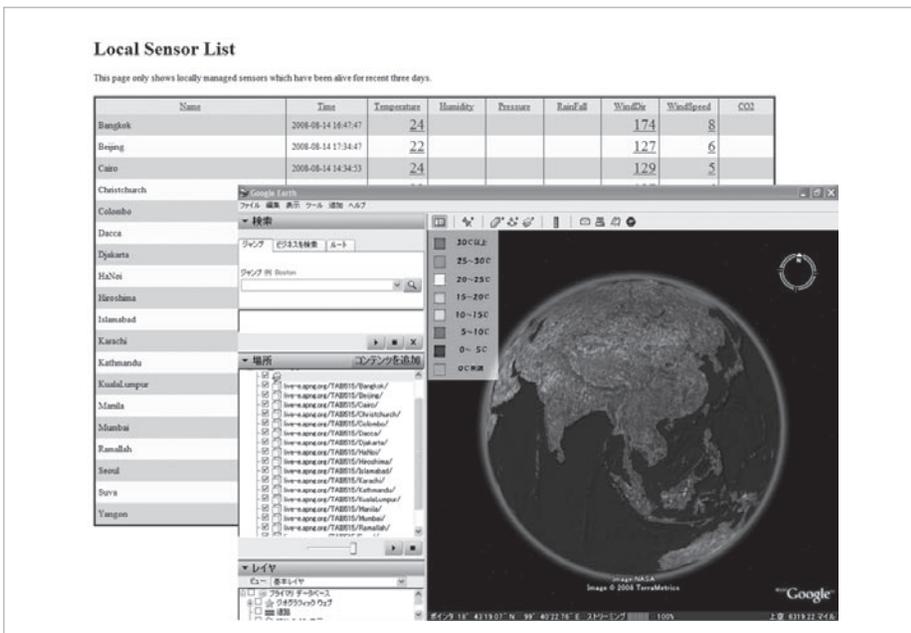


図-10 センサデータの Web 閲覧および Google Earth への Mashup

工科大学への無線接続設定と、Live! データアップロード設定を行った。これらの設定は、センサを各国に持ち帰ってから自力でセンサを設置する場合に必要な最低限な内容である。設定内容を極力少なくしたことで、結果的に、20 グループのうち、19 グループが、センサから Live! サーバにデータを送ることに成功した。

データの利用に関して、ワークショップでは、Live! サーバに送られたデータを一覧で表示したり、グラフ表示したりした。またセンサと位置情報を組み合わせ、Google Earth に統合表示する体験も行った(図-10)。

このようにして、広域センサネットワークにおけるデータ収集や利用について簡単なチュートリアルを行い、センサを各国に持ち帰って運用するための基礎を学習した。

センサノードの構成：OpenWRT という選択

今回の Live! ワークショップで使用したセンサキットには、OpenWRT³⁾を始め、各種技術が用いられている。実機を用いるワークショップにとって求められる要件は、(1) 機材が安価であること、(2) 参加者が簡単にセットアップできること、(3) 発展的な内容に踏み込みやすくすること、である。我々は、これらの条件を満足するセンサを開発し、ワークショップに挑んだ。

■ センサノードの構成

図-11 に、センサの全体構成を示す。センサ本体と無線ネットワークホストで構成され、センサが観測した温度/風向/風速のデータを、インターネット経由で Live! サーバに送り届けることができる。センサは、AAG⁴⁾

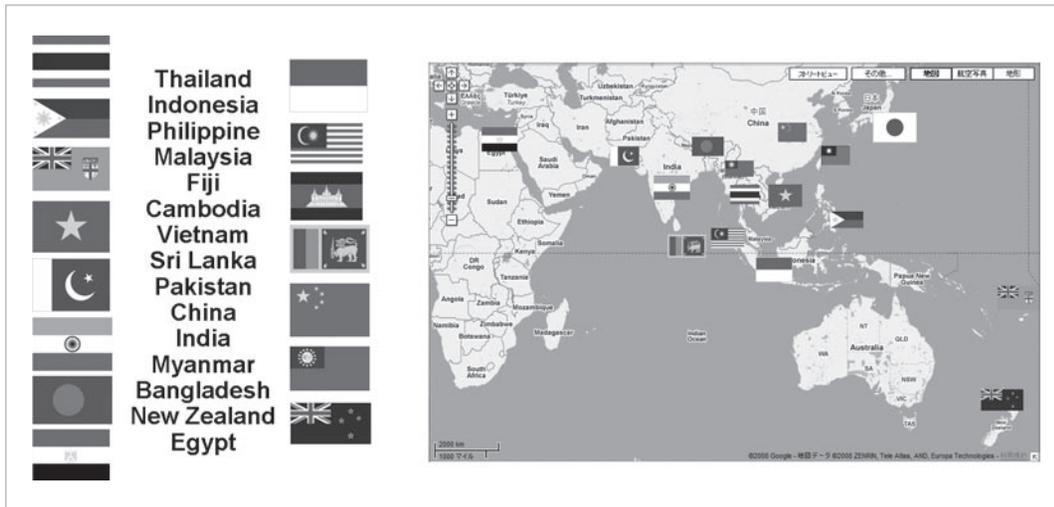


図-12 センサを配布した15カ国

の TAI8515 1-Wire Weather Instrument Kit を用い、無線ネットワークホストのハードウェアには、ASUS 社の商用無線 LAN ルータ (WL500G Premium) を用いた。無線 LAN ルータは、5 個の Ethernet インタフェース、1 個の 802.11g 無線 LAN インタフェース、2 ポートの USB インタフェースが搭載されている。OpenWRT Linux ファームウェアを移植することが可能で、ここに、センサから読み出したデータを Live E! サーバへアップロードするソフトウェアを搭載した。

■ OpenWRT

OpenWRT は、組み込み機器向けの Linux ディストリビューションの 1 つである。いくつかの商用無線 LAN ルータにインストール可能で、TELNET や SSH でログインし、自由に設定することができる。たとえば、無線の動作モードに関して ad hoc, sta, ap 等の設定が可能のほか、インタフェースの動作方式設定 (e.g., ブリッジなど)、ルーティング設定、各種アプリケーションのインストールが可能である。

近年、活発に研究が行われている Mobile Ad Hoc Network (MANET) や Delay Tolerant Network (DTN) のソフトウェアをインストールすることも可能で、研究の実証実験テストベッドとしても注目されている。

OpenWRT のインストールは簡単である。ワークショップで用いたハードウェアの場合、PC と無線 LAN ルータを UTP ケーブルで接続し、ルータの RESTORE ボタンを押したまま電源を立ち上げる。すると、ルータ側 (192.168.1.1) に TFTP サーバが起動するので、OpenWRT のページから入手したファームウェア・イメージ (openwrt-brcm-2.4-squashfs.trx 等) を、PC 側から TFTP で転送すればよい。詳細は OpenWRT のドキュメント (英語) を参照されたい。

■ 1-Wire Weather Instrument Kit

1-Wire プロトコルで利用可能なセンサが、AAG から販売されており、価格も 100 ドル程度 (1-Wire-to-USB アダプタ込み) ということで、ワークショップでは、このセンサを利用することにした。データの読み出しには、Linux 上で動くソフトウェア One-Wire-Weather (OWW)⁵⁾ を移植することで対応した。

■ ワークショップで取り組みやすくする工夫

このようにして構成されたセンサノードは、機材の価格が 200 ドル程度に抑えられ、参加者は、各国にセンサノードを持ち帰ってから、ワークショップ後に OpenWRT の上で発展的な実験ができるといったおまけもついてくる。一方、限られた時間の中で、これらのインストール作業を初体験者にすべて行ってもらうのは困難であるのも事実である。

我々は、事前に OpenWRT やアプリケーションのインストールを施しておき、ワークショップ本番は、ネットワーク設定と Live E! 関連設定だけで、期待した動作ができる状態にした。こうしてワークショップの参加者は、OpenWRT という初めての環境でも、短時間に簡単に成功体験を積むことができたのだ。

ワークショップの反響と今後の期待

ワークショップで使用したセンサキットは、事前に申し出のあった団体に、「自国に持ち帰って設置する」という条件で、寄付することになっていた。結果として、15 カ国に 19 台のセンサを配布することになった (図-12)。

ワークショップの中で、参加者から、下記の意見をいただいた。

- 自国でもセンサを購入したい

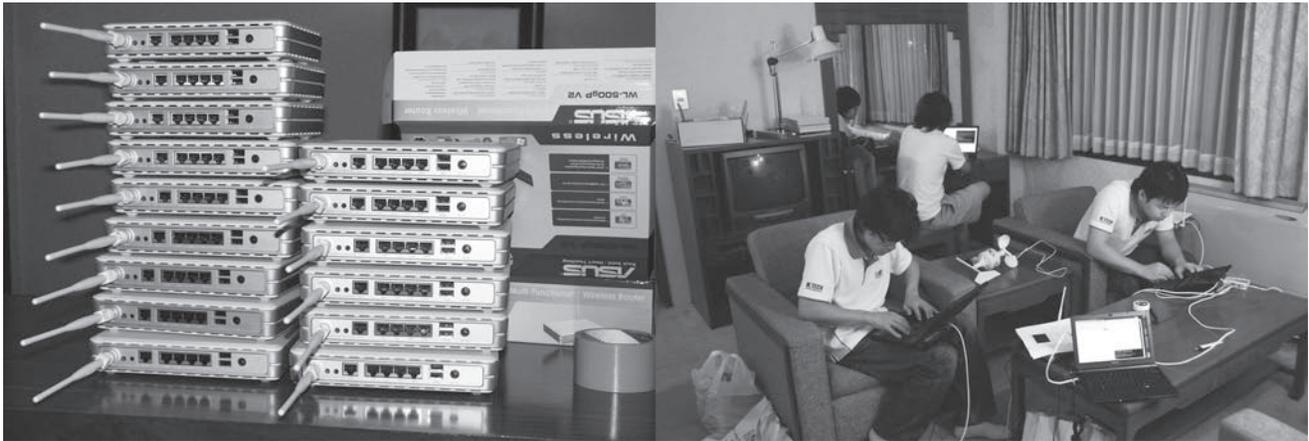


図-13 ワークショップ当日へ向けた準備の様相 (アジア工科大学のホテルにて)

- 設定が簡単だし、ぜひやりたい
- サイクロン警報システムを開発したい
- アフリカで広めたい
- 国内でのイベント合宿等で利用したい

安価になったことで、発展途上国の中でも自らセンサを購入し、展開することが可能になったようである。簡単に設定ができるようにしたことで、取り組みやすさを実感してもらえたようだ。サイクロン対策などへの応用面の話題も盛り上がった。各国で独自にワークショップなどを行い、その土地で今後、展開が期待されるような意見もいただいた。

実機を使い、参加者が自ら設定を行うことで、センサに対する理解が深まり、創造意欲のかきたてられるワークショップとなった。今後、Live E! 技術 WG は、各国の担当者をサポートしていく予定である。各国に持ち帰ってもらったセンサキットが Live E! 技術の種となり、今後、その地で花開くことを期待している。

ワークショップ開催にまつわる秘話

本ワークショップでは、海外で実機材を 20 台の規模で用いた。これは挑戦的であった。

■ 第 1 回、第 2 回ワークショップの反省

最初の Live E! ワークショップ(西安で開催)と、2 度目のワークショップ(チェンマイで開催)では、Windows アプリケーションとして作られた仮想的なセンサを用いてデータのアップロードの演習を行った。一連の手順を学習する上では十分な内容だったが、Live E! の活動に参加するには、自らセンサを購入および設置しなければならず容易なことではなかった。日本で使っているような高価なセンサは、発展途上国の人々には入手困難であったし、購入後どのようにしたらいいかが想像つかないな

どの課題があったのである。

発展途上国の中で自立的にセンサ網を構築し、持続的な運用を可能にしていくためには、200 ドル程度で始められるセンサの事例を示すことと、設置に踏み切るために検討が可能な材料、すなわち、お試しキットを提供する必要があるのだと考えた。そこで、今回の 3 回目となる Live E! ワークショップでは、実機材を用いたチュートリアルを行うことになったのである。

■ 実機材を使うことの困難さ

OpenWRT を利用することで、安価で簡単に開始でき、後に発展的な挑戦ができるセンサを開発することができた。機材としては完璧であったが、海外で行われるワークショップの中で実際にそれを扱うのは、容易なことではなかった。機材到着が予定をオーバーして、ワークショップ開催の 3 日前になっただけではなく、到着した機材の型番がわずかに異なっていることも判明した。具体的には、ASUS WL500G Premium Router を注文したはずだったが、ASUS WL500G Premium Router V2 が送られてきたのである。2 文字の違い (V2 があるか否か) であったが、内部的にはチップセットが異なるため、用意してきたインストール・キットが使えず、OpenWRT のバージョンを変更し、初めからすべて作り直しであった。この影響で、用意してきた配布マニュアルのほぼすべてを書き直す必要にも迫られた。ハードウェア・バージョンの違いが発覚してから、動作しない原因の追究、開発環境の再整備、アプリケーションのビルド、20 台へのインストール設定と、夜通し作業を行い (図-13)、何とかワークショップ本番に間に合わせる事ができた。

一方で、アジア工科大学の献身的な協力で、空港での通関手続きおよびタイ国内の配送を速やかに行ってもらえることができていた。この協力がなければ、ワークショップには、準備が間に合わなかつたらう。

実際には AAG の 1-Wire センサを十分に用意することもできなかった。ワークショップは Router の中で動くソフトウェアなセンサで対応し、不足分は配送会社から直接各国の担当者に配送されることになった。

広域センサネットワークへの期待と今後

従来、センサは利用目的に応じて独自のセンサ網設備として設置され、管理されるものであった。そのため、観測されたデータはセンサ運営組織ごとに独自のフォーマットで管理され、それが組織間でのデータ共有を阻んでいた。広域センサネットワークは、この問題を解決し、複数のセンサ運用組織で集められているデータを共有することで、データの再活用 (i.e., 本来の目的以上のこと) を実現することを目指すものである。たとえば、首都圏で高密度に環境センサの情報を集めることができれば、ヒートアイランド現象の解析が進むと言われている。Live E! 情報基盤の上ではリアルタイムにデータ流通が行われるため、実は、ヒートアイランド現象の解析だけではなく、リアルタイムなゲリラ豪雨の検出、対策などへの活用までもが実現できる可能性がある。またここには、さらに多くのアプリケーションが考えられる。

今現在は、まだセンサ数が限られているために、アプリケーションとしてできることも、そう多くはないかもしれない。しかし、倉敷市の事例のように、センサが多く設置されることで、その地域を中心としたアプリケーションの開発が活発に行われるようになったのは事実である。このように、今後、広域センサネットワークにはさまざまなビジネスが生まれる可能性が秘められている。

本解説記事は、Live E! 国際展開に関する活動報告と、そこで使用したセンサに焦点を絞って解説を行った。Live E! では、センサ開発のみならず、広域的なセンサ・アプリケーション全般 (e.g., 災害対策、ヒートアイランド現象の分析、教育利用、環境情報に敏感なビジネス)、データマネジメント関係のオーバレイネットワーク技術も

含め、研究開発を行っている。今回のアジア地域への展開は、各国でセンサを運用し、実的な利用をもらうことで、今後の研究開発の上での経験値を増やすことを狙いとしていた。

謝辞 第 10 回 APNG Camp での Live E! ワークショップは、Live E! 協議会、情報通信研究機構 (NICT)、アジア工科大学、APNG の支援によって実現された。機会の提供および実現に向けたサポートをしてくださった、松本敏文氏、江崎浩教授 (東大)、砂原秀樹教授 (慶應大) に感謝申し上げたい。また、今回、共に活動してくれた川原貴裕君や、センサの開発を頑張ってくれた杉山哲弘君など、身を粉にして協力してくれた多くの方々にも感謝申し上げる。

参考文献

- 1) Asia Pacific Networking Group. <http://www.apng.org/>
- 2) Live E! Project. <http://www.live-e.org/>
- 3) OpenWRT. <http://openwrt.org/>
- 4) AAG Electronica. <http://www.aag.com.mx/>
- 5) One-Wire Weather. <http://oww.sourceforge.net/>

(平成 20 年 11 月 25 日受付)

落合秀也 (学生会員)

jo2lxq@hongo.wide.ad.jp

平成 18 年東京大学・工・電子情報工学科卒業。平成 20 年同大学院情報理工学系研究科修士課程修了。同年同大学院同研究科博士後期課程、現在に至る。ファンリテイマネジメント、広域センサネットワーク、耐遅延ネットワークの研究に従事。NICT 特別研究員。

松浦知史

matsuura@is.naist.jp

平成 17 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士課程修了。平成 20 年同大学院同研究科博士課程修了。オーバレイネットワーク、センサネットワークの研究に従事。NICT 特別研究員。博士 (工学)。

山内正人

masato-y@kmd.keio.ac.jp

平成 20 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士課程修了。同年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科博士後期課程、現在に至る。センサネットワーク、データマイニングの研究に従事。

