解説

細粒度気象センサネットワーク構築の実際
～群馬県館林市の例～

戸辺義人（東京電機大学）・蔵田英之（日本気象協会）

センサネットワーク 10 年間の歩み

大規模なセンサネットワークは，マルチホップ転送無線通信ネットワークで構成される．この「ばけつリレー方式」のマルチホップ転送無線通信ネットワークを，実験室，私有地ではなく，公共空間である街中に張り巡らせてみたいという思いと，細かい 2 次元メッシュでしかも細かい時間帯で局所的気象を観測してみたいという願いの 2 つを，群馬県館林市の気象センサネットワーク（プロジェクト名称 TScan[1]）として実現することとした．この気象センサネットワークは，2009 年 7 月 23 日から 24 時間連続運転を継続している．本稿では TScan について述べるとともに，屋外センサネットワークの現状を俯瞰することとする．

センサで取得した情報をネットワークで送信することは，工業プラントで何十年も前から行われていたことであり，歴史上特段新しいことではない．しかし，工業以外への広がりは，ここ 10 年間に大きく躍進したという意味では新しく，そのきっかけとなった代表的なプロジェクト，スマートダストについてまず述べる．スマートダストは，UC Berkely で，DARPA のプロジェクトとして始まったもので，半導体微細化技術も駆使して，センサ，無線通信機能を搭載した小型のノードを多数散布し，ネットワークを自動構築し，空間の状況を取得しようという目標を掲げた．この目標は実現できてはいないが，プラットフォームセンサノードを生み出したり，あらゆる分野でのネットワークセンシングの取り組みのきっかけを作った．

スマートダストが発表された萌芽期から，この 10 年間の動きを，センサノードプラットフォームと屋外適用プロジェクトの面から振り返ってみる．まずセンサノードプラットフォームとして，スマートダストから派生した基板実装センサノードとして MICA Mote ノードが登場した．照度，温度センサなどのセンサユニットと特定小電力無線で通信できることが可能で，TinyOS とともに世界的な研究プラットフォームとして発展した．現在は，無線媒体として，IEEE802.15.4 で通信する，MICAz Mote（商品名は現在 IRIS）として発展し，多くの研究機関で利用されている．MICA Mote 専用であった組込み OS である TinyOS では，NesC 言語☆1 が使われていたが，Java で利用できる Sun Spot が登場したり，ソフトウェア構築の柔軟性は広がっている．MICA Mote 以外のプラットフォームもあったが，共通の理解を深めたという点で MICA Mote の研究コミュニティへの貢献は大きい．表 -1 に，主だったセンサノードプラットフォームを記す．

次に，これまでのセンサネットワークを屋外実証ベースで進めたプロジェクトの例を表 -2 に示す．この中でも，Anish Arora らによる ExScal プロジェクトは，お題目のように唱えられた「数多くのセンサノード」の数を実際に追求したという点で注目される．ExScal では，2004 年 12 月に約 1000 台の XSM と呼ばれる遠隔管理可能なノードと約 200 台の中継ノードを 1.3km × 300m の領域に展開してこれまでの無線センサネットワークの中では最大規模の実験を行った．

国内では，13 の企業・団体からなる Live E! プロジ

☆1 NesC 言語：TinyOS のアプリケーションを記述するために開発された．C 言語風のイベント駆動を主体としたプログラミング言語．

名称	開発年	開発機関	ソフトウェア開発言語	特徴
MICA Mote	2001 年	Crossbow Technology 社	NesC	電池駆動ノードとしてセンシング機能，制御機能，無線通信機能といった必要とされる機能が搭載され，発売当初から数年にかけて研究者の中でデファクトの１つとして主流センサネットワーク・プラットフォームになった．MICA2，MICAz へと発展．
BTnode	2002 年	ETH Zurich	C	２つの通信インタフェースを有し，計算能力とメモリ領域のバランスがある（図 -6）ため，使い道（アプリケーションの開発）が広い．
U3	2003 年	東京大学	C	ハードリアルタイム処理をサポートすることで，無線通信資源，計算資源，周辺デバイスの稼働時間をきめ細かく制御する．
uParts	2004 年	University of Karlsruhe/ Particle 社	C	送信のみに特化し，小型化した．
Sun Spot	2004 年	Sun Microsystems 社	Java	Java プログラミングが可能．
Telos	2004 年	University of California, Berkeley	NesC	待機モードの消費電力や駆動時間を最小限する設計により，低消費電力を実現した．
Solar Biscuit	2005 年	東京大学／芝浦工業大学	C	太陽電池等を用いて電池交換なしで半永久的に駆動可能なセンサネットワーク・プラットフォームノード．

表 -1　代表的センサネットワーク・プラットフォームノード

プロジェクト	時期	研究機関
Great Duck Island	2004	UC Berkeley
Live E!	2005-	WIDE プロジェクト他
ExScal	2005	Ohio State University
フィールドサーバ	2005	農業・生物系特定産業技術研究機構
Airy Notes	2006	慶應義塾大学
野生動物生態調査	2008	岩手県立大学
SensorScope	2008	EPFL
GreenOrb	2009	Hong Kong University of Science and Technology 他

表 -2　屋外運用検証型のセンサネットワークのプロジェクト

ェクトが 2005 年にスタートし，気象情報などを含む広義の環境情報の収集とその活用を推進している．Live E! では，マルチホップ通信を利用するというよりも，直接インターネットに接続された「デジタル百葉箱」設置を中心として，デジタル百葉箱が生成・取得する環境情報が，自由に流通・共有・利用できるプラットフォームの構築および運用を行っている．2009 年末現在で約 100 のセンサノードが国内外に設置され，構築したプラットフォームを利用した環境情報の共有が可能となっている．岩手県立大学瀬川典久氏を中心とするグループでは，動物体内に無線センサノードを埋め込むことにより，野生動物の生態調査を行っている．最終的には熊の生態把握を目的として，鹿の体内に無線センサノードを埋め込み，無線通信特性等，適用可能性を調査している．

以上のように，この 10 年間で要素技術，システム構築が多くなされてきたが，我々は街中・公共空間に特化して，通信以外の実装・運用の知見を得ることを目的として，TScan を進めることとした．

TScan：群馬県館林市における実験

群馬県館林市は 2007 年 8 月に最高気温 40.2 度を観測するなど，夏の猛暑で知られていて，熱中症対策に力を入れている．街の中での気温分布を詳細に観測するために，群馬県館林市駅前を中心にセンサネットワークを構築することとした．東京電機大学では，2007 年から東京都内を中心に「街中センサ」の実験を進めてきた．一般的に，街に展開するには，ビル管理会社，自治体，店舗のオーナーといった 1 件 1 件に実験の趣旨を理解いただいて進めなければならない．多くの場合，理解いただくのが難しく，センサ設置が不可能となる．今回は，館林市長にご理解をいただき，館林市地球環境課ご協力の下，館林市の気象センサネットワーク事業として推進することが可能となった．

さて，本システムは，所望のセンシング条件を決定し，それに合わせてネットワークを設計することとした．センシングの条件として，

・市内広域に渡り，温度，湿度の状況を細かく知る．
・50m の精度で，気温分布の違いを特定する．
・2 年間，24 時間連続稼働とし，データを蓄積する．

とした．将来，市内に広げることとし，まずは駅前通りから市役所にかけての市街地でのセンシングから始めることとした．空間メッシュを小さくすることと，1 分間に 1 回のセンシングという時間軸上も細かい粒度とするという両方の意味で，「細粒度」センシングと呼ぶこととする．

これを実現するためのネットワーク構成として，マル

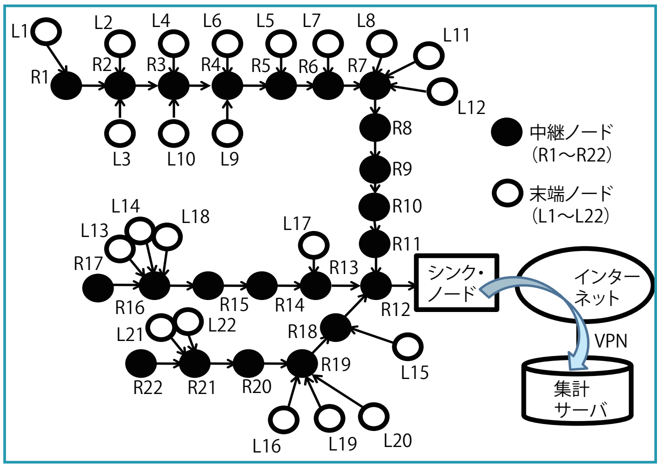

図 -1　ネットワーク構成

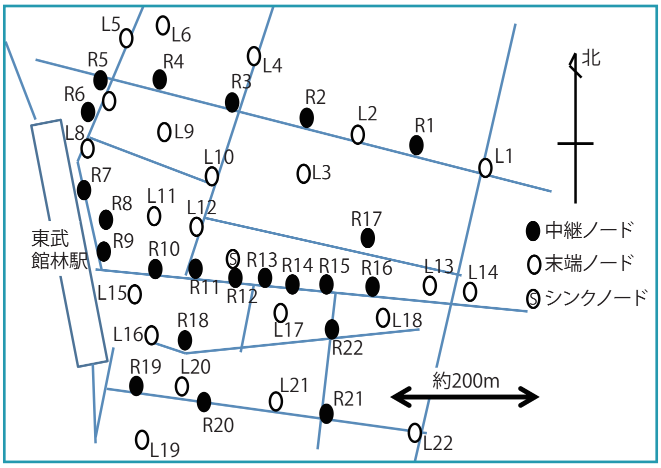

図 -2　センサノード配置

チホップ通信に適したIEEE802.15.4を選択する．実験に用いるプラットフォームは，ケージングも含めてプロトコルの作り込みが必要であるため，市販のノードは用いずに，オーエステクノロジー社と共同開発した．構成として，全ノードのデータがシンクノードに集められ，シンクノードからインターネット上のVPN (Virtual Private Network) により，集計サーバにデータを送ることとする．ネットワークの容量を考えると，各データ量をDビット，ノード数をN，IEEE802.15.4の物理帯域をBとすると，Bは，DN/60よりも十分大きくなければならない．今回，ノード数N=44，D=88bitとしたので，B=100kbpsであることから，ネットワーク容量上は問題ないことが分かる．

ネットワーク内のノードの区別は，中継機能の有無で行い，各々，中継ノードと末端ノードと呼ぶこととする．中継ノードはルータとしての機能を有し，上流からきたデータパケットをシンクノードへ向かう下流へ向けて転送する．シンクノードは受信専用のノードであり，センシング機能を持たない．中継ノードでも独自にセンシングデータを取得し，中継ノードと末端ノードの全部でセンシングし，データパケットを送信することとするため，両者をまとめて，センサノードと呼ぶ．

ネットワーク設計上のポイントとして，ノードの電源供給がある．ノードの設置場所に自由度を持たせるためには，すべてのノードを電池駆動させるのが望ましい．しかし，ここで末端ノードと中継ノードとでは考え方が異なってくる．末端ノードでは，1分間に1回だけウェイクアップさせ，センシングの後，送信し，スリープするということを繰り返すだけでよい．しかし，中継ノードには同一の仕組みは適用することはできない．中継ノードにとっては，1つ上流のノードからいかなるタイミングでデータパケットを受信するか不明であるため，いつでも起きた状態にしていないとならないからである．これに対して，2つの解決策が考えられる．1つ目は，ノード間を完全に時刻同期させ，全ノード間で，スリープ，ウェイクアップを同時進行させることである．しかし，ウェイクアップ時のリンク間の通信を非同期で行うのであれば，衝突も発生し，完全にデータが送れることが保証できない．時分割多重の同期プロトコルとしなければならない．それを実現するとなると，IEEE 802.15.4のマルチホップ通信の簡便な方式を適用する意図からはずれてしまう．2つ目は，中継ノードをスリープさせずに，常にアクティブとすることである．TScanにおいては，2つ目の方法に基づき，中継ノードを，電柱等電源供給口のある場所から電源供給することとした．使用する乾電池と消費電力測定結果から，末端ノードの電池寿命を10カ月と見積もり，余裕を持たせて8カ月に1回電池を交換することとした．センサノードの消費電力低減の工夫は学会発表でもよく取り上げられる．ボランティアでセンサネットワークを運用するときには，消費電力により，電池交換頻度に大きく影響があるので，切実な問題であることが実感できる．

中継ノードについては，常時通電とすることにしたため，100V電源供給可能な場所に制約を受けることとなった．そこで，「電源確保」と隣接ノードとの無線到達性という観点で，中継ノード配置位置を決定した．その結果，東西を結ぶ3経路と，その間を南北で1本結ぶ構成のネットワークを組むこととした．全体のネットワーク構成図は図 -1，地図上で見る配置図は図 -2のようになる．最終的に，中継ノード数22，端末ノード数22からネットワークを構築することとなった．

実適用

屋内実験室にセンサネットワークを敷設する場合と異なり，一般の生活空間である屋外に構築する場合には，

図 -3　防水センサケース

図 -4　中継ノード取り付けの様子

いくつかの点に留意する必要がある．単純に，小さなセンサノードを自由に散布するというわけにはいかない．これらの留意点は，センサノード筐体の実装センサノード固定に必要な支柱，運用中の事故防止である．

屋外に設置するセンサノードは，日々風雨に晒される危険性があるため，防水センサケースを検討した．本防水センサケースの大きさは直径 16cm，高さ 25cm の円柱であり，重さは約 300g である．防水センサケースは下の部分が防水センサケース，上の部分が通風フィンとなっている．通信基板や AC アダプタ等の機材はすべて防水ケース内に収納した．気温，湿度センサと通信アンテナは通風フィンと呼ぶ，ケースの屋根内に取り付け，風通しの確保，直射日光や直接雨水等がかからないように実装した．見落としがちの点として，電源ケーブル接合部がある．AP センサノードは電源が必要なため電源の防水加工が必要である．防水センサケースの内部から防水電源ケーブルをひき，プラグの部分に防水コンセントプラグを取り付けた．あらかじめ，防水ケーブルの長さは設置場所に応じて必要な長さで実装した．防水ケーブルと防水コンセントプラグの間は隙間が空いてしまうため，ホットボンドを使用して接着した．

センサノード筐体の検討の後，いかに固定するかという検討に移った．館林市内の設置対象地区には，街灯の柱，電柱が多くあるため，支柱に圧着することを考えた．防水センサケースの取り付け金具として，防水センサケースの上のボルトに L 字金具を取り付けた．L 字金具だけでは，設置面が不安定になるため，U 字金具を使用する．U 字金具のボルト部分が設置面に向くように U 字金具を取り付けた．図 -3 は L 字金具と U 字金具を取り付けた防水センサケースである．設置時，設置面に対し，ボルト 4 脚で支えることにより，防水センサケースのずれや風などによるねじれに強くなる．また，設置面と防水センサケースの間隔を開けることにより，設置面からの反射熱を防ぐことができる．

図 -5　自立ポール

防水センサケースの設置について，コンクリート柱，街灯や自立ポールに設置する．設置機材として，電柱に変圧機等を固定する機材として多く利用されているステンレスバンドを使用して設置する．ステンレスバンドは円柱に固定する機材であるため，街灯などの角柱にセンサを取り付ける際は確実に固定できない．そのため，角柱に固定する際はゴムバンドを使用し，ゴムバンドの上からステンレスバンドを巻くことにより，締め付けが可能になり強度を保つ．図 -4 は実際にセンサノードを取り付けた設置図である．また，電波通信の中継のため設置場所にセンサノードを設置できるポールや街灯がない場所には，自立ポール（図 -5）を立てて，センサノードを設置した．使用したポールは内部に鉄棒が入っている

塩化ビニル管もしくは金属パイプである．地面だけでは風雨に耐えられないため，地面から，高さ 2m 付近でカラーワイヤにより，120 度間隔で 3 点方向に引っ張ることで安定性を保つこととした．

安全対策として，中継ノード，末端ノードに使用しているボルトはステンレス製とし，ステンバンド固定用に使用する L 字金具は三価クロメート処理を施した後，塗装し腐食防止を行った．ステンバンドは 5cm 程度の間隔を空け，2 本で固定した．ステンバンド固定とは別にワイヤを設置し，仮にステンバンドが外れた場合，ワイヤが防水センサケースの命綱の役割を果たし，落下を防ぐよう実装した．

運用開始以来，センサノードの固定方法と安全対策を入念に行ったため，ノード破損の事故は起きていない．しかし，誤って電源が落ちるなどの原因により，データ取得が途絶えることが数回起きている．その場合の多くが，トポロジ上シンクノードに近いノードで生じた．そのため，上流から送信されてくるデータをすべて受け取れない状況が発生した．明らかではあるが，マルチホップ通信においては，ホップ数を多くすると耐故障性が弱くなることを再認識した．設計時に判明していたことではあるがノード設置の制約もあり，今後，動的迂回路構築プロトコルを実装する予定である．

細粒度センサネットワークの気象センシング展開

気象センシングの必要性

複雑化する市街地の気象状態分布は，交通量の多い道路沿い，並木道，地面の素材（アスファルト，芝，土），河川の位置など，環境により大きく変化する．この変化は 10 ～ 100m 単位と非常に細かい事象であるが，体感的に違いがあることが誰でも分かるものの，これまで細かい事象が連続的かつ客観的に把握されることはなく，当然ながらそれを根拠とした最適な対策が実施されることもなかった．このような背景において，その一助となる細粒度センサネットワークによる気象センシングを連続的に実施するということは，大いに意義がある．

本取り組みでは，近年特に暑さが著しいことでよく知られる館林市の中心市街地に気温・湿度センサを高密度に配置し，連続的なセンシングを実施することで市街地における温熱環境を詳細に把握するとともに，取得できたデータを市民サービスに活かす，あるいは問題があると考えられるエリアを特定する，さらにはヒートアイランド対策や熱中症対策など具体的な問題解決に寄与する，といったように，さまざまなシーンでの利活用につなげることを目的としている．

細粒度センサネットワークによる気象センシングを

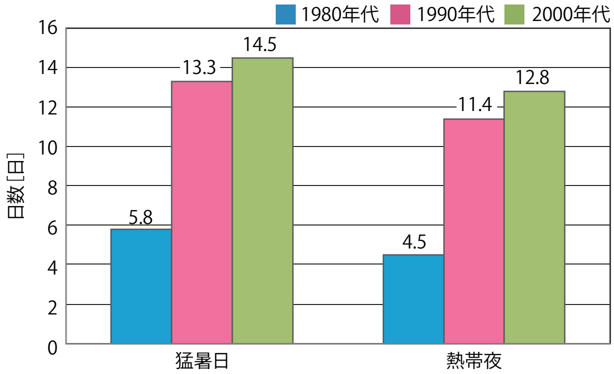

図 -6　猛暑日と熱帯夜の発生日数の変移（AMeDAS 館林）

連続的に実施している群馬県館林市は，気象庁が全国展開している AMeDAS（地域気象観測システム／Automated Meteorological Data Acquisition System の略）観測所があり，手軽に気温の統計処理を行うことができる（図 -6）．たとえば，猛暑日（最高気温が 35℃以上の日）発生日数は 1980 年代（1980 ～ 1989 年）の 10 年間平均では約 6 日／年であったのに対し，1990 年代（1990 ～ 1999 年）では約 13 日／年，2000 年代（2000 ～ 2009 年）では約 15 日／年と大幅に増加しており，2007 年 8 月 16 日には，過去最高気温 40.3℃を記録した．同様に，熱帯夜（最低気温が 25℃以上の日）発生日数も，1980 年代は約 5 日／年であったのに対し，1990 年代は約 11 日／年，2000 年代は約 13 日／年と大幅に増加している．また，2006 年 6 月 28 日には，ダウンバースト（積乱雲や積雲から生じる強い下降気流）が発生するなどしており，近年激しい気象現象がよくみられる地域である．しかしながら，これらの原因を究明し，事象の発生を早期にキャッチするためには，市内にわずか 1 カ所しかない AMeDAS 観測所（たとえば，気温の測定は約 20km 四方に 1 カ所に配置されている）だけでは無理がある．

測定データの気象学的解析事例

2009 年 7 月 27 日 14 時過ぎに，館林市を中心に F1 ～ F2 スケール（竜巻などの風速を構造物などの被害調査から簡便に推定する指標で，F1 ～ F2 は風速 33 ～ 69m/s 程度）の竜巻が発生し，市内中心部（図 -7，今回設置したセンサネットワークエリアのやや北側）を南西から北東へ約 6.5km，幅約 50m にわたって横断した．これにより，人的被害（負傷者 21 名）や住家損壊（一部損壊 529 名）・自動車の横転など，総額約 6.3 億円の被害が生じた（『館林市被害状況速報』より）．

なお，AMeDAS 館林は測定エリアから南に約 1.5km 離れたところにある．

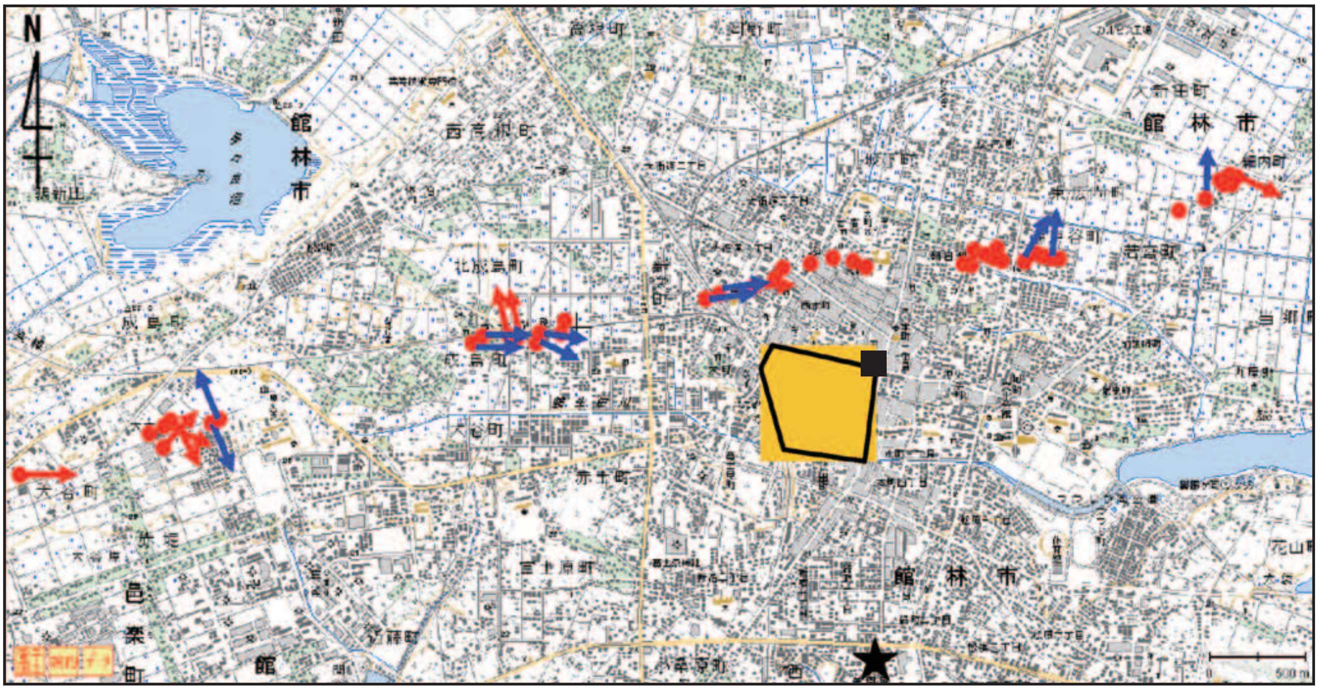

図 -7　竜巻の通過域と今回設置したセンサネットワークエリア（東京管区気象台 Web サイト『現地災害調査速報』に追記）

→ 木や植生や物が倒れた方向
→ 屋根瓦や物が飛んだ方向
● 被害の発生した地点
■ センサネットワークエリア
★ AMeDAS 館林

※主な被害確認地点をプロット

a）竜巻通過時の気温・湿度時間変化

図 -8 は，AMeDAS 館林と細粒度センサネットワークによる気象センシングを連続的に実施している地点である館林駅前街灯地点と緑地公園地点の気温・湿度の時間変化を比較したものである．すべての地点において，竜巻が通過中と見られる 14 時前後では気温の急激な変化（6 〜 7℃低下）がみられるが，特に館林駅前街灯地点と緑地公園地点から収集されたデータからは，14 時 3 〜 4 分頃までは AMeDAS 館林よりも気温が高く，14 時 5 分頃以降は AMeDAS 館林よりも気温が低くなり，中心市街地におけるより急激な気温低下をとらえることができた．また，同時期に館林駅前街灯地点と緑地公園地点の湿度も急激に上昇している．それ以外の細粒度センサネットワークによる気象センシングを連続的に実施している地点でも，気温急降下，湿度急上昇の開始時期については同様の傾向がみられたが，緑地のある公園や川沿いの地点では湿度が高い傾向がみられ，通行量の多いメイン通り近郊の地点では気温降下の度合いが激しいなど，設置地点の環境による地点間の傾向の差異が特徴的であった．

b）竜巻通過時の気温変化量の時空間分布

図 -9 は，細粒度センサネットワークによる気象センシングエリアにおける気温変化量の時空間分布である．

気温急降下の始まる 14 時 3 分以降の気温変化量の時空間分布をみると，エリア全体がほぼ一様に 14 時 14 分頃まで気温が降下しており，期待していた竜巻の接近・通過（南西から北東方向）に伴う気温降下域の面的伝播状況を明確に掴み取ることはできなかった．また，湿度変化量の時空間分布も気温変化量の時空間分布と同様，エリア全体がほぼ一様に変化する傾向を示していた．

館林市での展開

今後 2 年間 TScan を継続していく中で，データ一般公開，センシング地域拡大，統合センシング化の 3 つを予定している．

（1）データ高精度化・一般公開

今回の解析を通じて得られた所見としては，細粒度センサネットワークによる気象センシングにより竜巻通過時の気温・湿度の時間変化をある程度捉えることができたものの，気温・湿度の変化量の時空間分布は明確にとらえることができなかったことである．この問題を解決するためには，1 分よりもさらに短い間隔（秒単位）における気象センシングを行う必要がある（参考までに，気象庁の AMeDAS は現在 10 分間隔で観測を行っているが，将来は 10 秒間隔で観測を行うことを計画している）．また，今回の解析では事象のあった特定の日時だけを対象としたが，細粒度センサネットワークによる気象セン

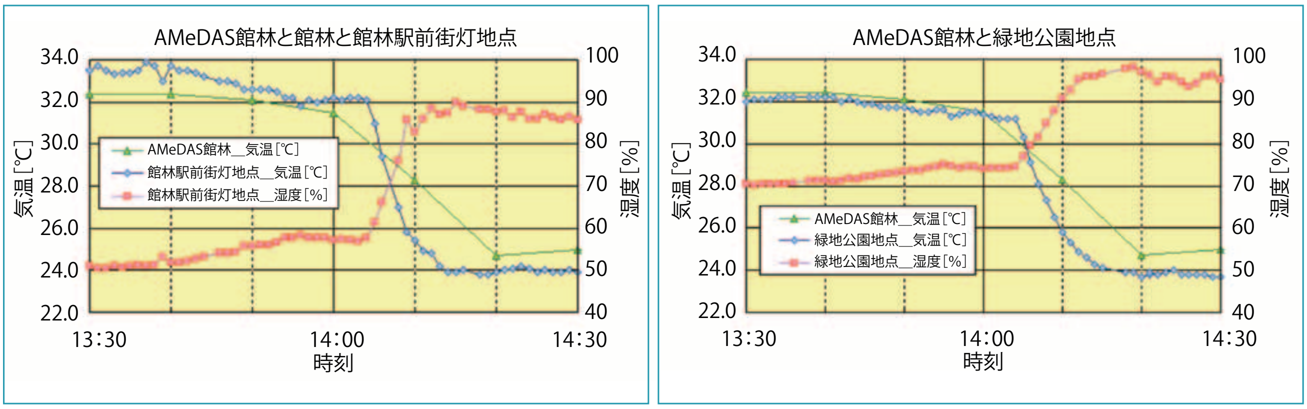

図 -8　竜巻通過時の気温・湿度の時間変化事例　（左）AMeDAS 館林と館林駅前街灯地点　（右）AMeDAS 館林と緑地公園地点

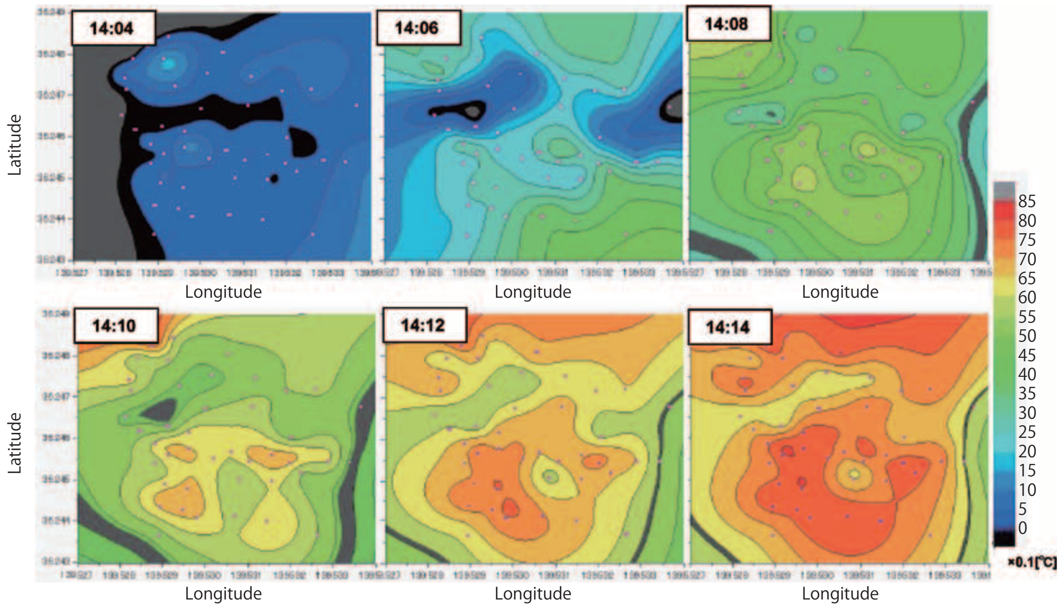

図 -9　気象センシングエリアにおける気温変化量の時空間分布（14 時 4 分〜 14 時 14 分）
※コンター：0.5℃間隔，図中の■：データ測定地点

シングは現在でも連続的に行っており，有用なデータが日々蓄積されていることから，より多くのデータを用いた解析（たとえば，気象センシングエリア内における地域特性や特定地点の特徴など）を実施していくことも重要である．さらに，現在設置している気温・湿度センサノードは，気象庁検定を受けていないため，これを気象庁検定付きのノードに順次置き換えていくことで，現在蓄積されているデータも含めて，一般公開可能なデータとしていく．

（2）広域展開

最終的な目標とする，ヒートアイランド対策や熱中症対策などの情報を取得するためには，現在のエリアだけでは狭い．市街地からさらに広げて，局所気象情報を広げる．その場合，居住者の少ないエリアではセンサノード設置密度を小さくするという考え方につながり，IEEE802.15.4 でマルチホップ通信させることは不可能となる．IEEE802.11 も含めた適材適所の無線媒体を組み合わせたネットワークの構築を考えたい．

（3）統合センシング化

TScan は，JST CREST OSOITE プロジェクトの一部分として行っている．OSOITE では，最終的には「街の可視化」を目指して，街の実世界実時間情報を提供するのが最終ゴールである．その中には，気候だけではなく，街の賑わい度，明るさ等の情報を含み，街の雰囲気のパッケージ情報を作ることとする．

固定センサネットワークからヒューマンプローブへ

センサノードをインフラとして次々と配置していくこととは別のアプローチとして，移動する人の力を借りてセンサネットワークと同等のことを実現したいと考えている．我々は，人の力を借りたデータ収集においても，センシング技術が重要な役割を果たすと考えている．具

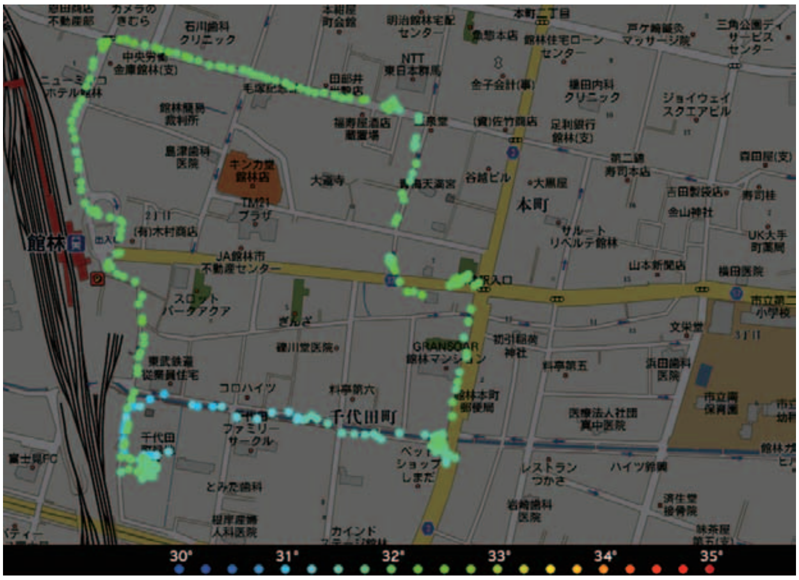

図-10　ヒューマンプローブプロトタイプで取得されたデータ

体的には，次の前提を満たす場合にヒューマンプローブであると定義する．

- 人が所持するセンサ付き携帯デバイスで，位置依存データを収集する
- 収集したデータは，他人も閲覧，利用可能とする
- 通信を利用する
- (1) ユーザを中心とした周囲の環境情報，(2) ユーザ自身の行動に伴う情報，(3) ユーザ自身の生体情報，のいずれかを取得する．

この前提に基づくデータ収集等の仕組みをヒューマンプローブと呼ぶ．我々は au 携帯電話に IEEE802.15.4 通信インタフェースを持たせ，MICAz Mote から取得したデータを携帯電話網を通してアップロードするヒューマンプローブプロトタイプを KDDI 研究所，慶應義塾大学徳田研究室，東京大学瀬崎研究室と共同開発した．本プロトタイプ機 10 台を用いて，館林市内の街歩きで，気温を取得した結果を図-10 に示す．

このヒューマンプローブを進めるにはいくつかの課題がある．まず，プライバシーの考慮が必要である．これまで，監視システム等の文脈において「ビッグブラザー」☆2 によるプライバシー侵害が議論されてきたが，ヒューマンプローブではさまざまな状況で分散してデータを収集するため，従来の議論の枠組みでは十分に問題をとらえきれない可能性がある．さらに「監視される側」だけではなく，データに付随する GPS 位置情報等によってデータ提供者側のプライバシーが侵害される可能性についても考慮しなければならない．データ提供の動機も重要な問題であり，特に市民参加型のヒューマンプローブとも言える参加型センシングの文脈で一部議論が行われている．センサの装着性も，収集されるデータの質と量に影響を与えると考えられるため，センサ装置の小型化や人間工学的なデザインが望まれる．もちろん，単にたくさんデータを集めるだけでは不十分で，さまざまな人が収集したデータの品質管理や情報過多の問題にも取り組まねばならない．

今後は，TScan の固定センサネットワークの運用課題に取り組むとともに，ヒューマンプローブによるセンシングの可能性を追求していきたい．

☆2 ビッグブラザー：大規模な監視を行う人物，機関を意味する．ジョージ・オーウェルの小説『1984 年』に由来する．

謝辞　TScan プロジェクトを進めるに当たり，安樂岡一雄館林市長，館林市環境水道部地球環境課福田勘二前課長，打木雅人課長，（株）オーエステクノロジー尾崎研三様，KDDI 研究所横山浩之様，富山県立大学岩本健嗣様，東京電機大学学生高木篤大君，菅生啓示君には，さまざまな形でご協力いただきました．お礼申し上げます．

参考文献

1) TScan Web サイト，http://osoite.jp/tscanweb/

（平成 22 年 3 月 8 日受付）

戸辺義人（正会員）yoshito_tobe@osoite.jp
東京電機大学，（株）東芝，慶應義塾大学を経て，2002 年から東京電機大学．現在同大未来科学部情報メディア学科教授．（独）科学技術振興機構 CREST 研究員．センサ応用システム，センサネットワークの研究を進めている．

蔵田英之 kurata@jwa.or.jp
1992 年 3 月横浜国立大学教育学部（地理学専攻）卒業．同年，（財）日本気象協会入社．気象業務全般に幅広く従事し，2008 年秋より細粒度センサネットワークの取り組みに参画．現在に至る．気象予報士．