

# インタラクティブなセンサデータ 閲覧のためのオンライン空間集約 手法

An Online Spatial Aggregation Method for  
Interactive Sensor Data Browsing

白石 陽 安西 祐一郎<sup>◆</sup>

Yoh SHIRAIISHI Yuichiro ANZAI

センサネットワークから提供されるセンサデータを効果的にユーザに提示するためには、地図データとの統合処理やセンサデータ間の空間補間などの空間集約処理が有用である。また、集約処理の結果を閲覧をする際のインタラクティブ性や実時間性を考慮することも重要である。本稿では、インタラクティブにセンサデータを閲覧するためのオンライン空間集約手法を提案する。本手法は、サーバより提供されるセンサデータに対して、領域ごとに空間集約処理を行い、インクリメンタルに処理結果を表示する。

Global environmental information provided by distributed sensor networks is useful for various kinds of location-oriented applications. Spatial aggregation methods such as spatial integration with map data and spatial interpolation between sensor data are effective in interactive and flexible browsing of widely distributed sensor data. We propose an online spatial aggregation method for interactive sensor data browsing. Our method incrementally aggregates sensor data provided by sensor data servers based on location information and shows the aggregated results for each decomposed region.

## 1. はじめに

近年、センサネットワークに対する関心が高まっており、データベースの分野においても、センサデータストリームやセンサデータベースに関する研究[1], [2]が注目されている。さらに、気象、天気、河川等に関するセンサデータを公開しているウェブサイトも存在し、センサネットワークが提供する様々なセンサデータをオンラインで利用できる環境が整いつつある[3], [4], [5]。

気象情報、渋滞情報、混雑状況、大気の状態など、センサネットワークにより提供される多種多様なセンサデータは、ユーザの周囲の環境の状態を把握する上で非常に有用である。地理的に広範囲に分布した大量のセンサデータを閲覧する場合には、各センサデータの値を見るよりも、位置情報に基づいて、複数の関連するセンサデータを加工し、抽象度の高いデータとして提供することが有用であると考えられる。本稿

では、このようなセンサデータを抽象度の高い表現に変換することを「センサデータの空間集約」と呼ぶ。空間集約処理の具体例としては、センサデータ同士の空間補間や地図データなどの空間データとセンサデータのマッピングなどが挙げられる。

しかしながら、広範囲にわたる時系列のセンサデータを収集し、集約処理を行う場合には、ユーザに集約結果を提示するまでの応答時間が増大し、インタラクティブなセンサデータ閲覧を実現する上で問題になると考えられる。本稿では、センサデータ検索の途中結果を利用するアプローチをとる。途中結果を利用するアプローチは、処理が完了するまでの間、ユーザに何らかの情報を提供できるという点で効果的であり、データベースの分野においても、いくつかの研究事例[6][7]が見られるが、センサデータの空間集約を行う場合には、空間データとしての側面を考慮した枠組が必要である。

本稿では、ネットワークを介したインタラクティブなセンサデータ閲覧を実現するために、複数のサーバからオンラインで提供されるセンサデータの空間集約手法を提案する。本手法は、問合せ領域を考慮して提供されるセンサデータに対して、位置情報に基づきインクリメンタルに空間集約処理を行い、その処理結果を領域ごとに段階的に表示することができる。文献[8]の中で、筆者らはセンサデータをインクリメンタルに提供することに着目したが、本稿では、その議論を進め、受信したセンサデータをどのように集約し、その結果をどのようにユーザに提供するかという問題を扱う。そして、空間集約の具体例として、(1)空間補間に基づくセンサデータのメッシュ統合、(2)ポリゴンデータとセンサデータの空間統合を取り上げ、それぞれに対して、インクリメンタルな空間集約アルゴリズムを実装する。

## 2. センサデータのオンライン空間集約手法

### 2.1 センサデータのインクリメンタルな提供

ネットワークを介して空間データを検索する際の応答時間の増大に対処するために、筆者らは、空間分割に基づくインクリメンタルなデータ提供手法を提案している[9]。この手法は、クエリに指定した問合せ領域を分割し、分割領域ごとに空間データ探索の結果を逐次的に提供するものであり、ユーザの指定した順序で優先度の高い領域からデータを受信し、統合処理を開始することができる。

文献[8]では、この空間分割のアプローチを発展させて、異種のセンサデータを提供する複数のセンサネットワークが混在する環境での、センサデータ統合のためのインクリメンタルなデータ提供方式を提案している。このデータ提供システムは、センサネットワークのラッパーであるセンサデータサーバと、仲介エージェントから構成され、仲介エージェントが問合せ領域を考慮してクエリを分割し、サーバでの各サブクエリの実行とサーバからの検索結果の転送を制御する。これにより、複数のサーバからのセンサデータを分割領域ごとに同期させてクライアントに提供することができる。

### 2.2 センサデータ提供システム

センサデータ閲覧システムは、センサデータ提供システム[8]にクエリを要求し、検索結果であるセンサデータを領域ごとに逐次的に受信し、ユーザに集約処理の結果を提示する(図1)。クエリのパラメータとして、問合せ領域(A)と空間制約(SC)が指定される。空間制約(SC)は問合せ領域を分割するためのパラメータであり、文献[8][9]では、矩形問合せ領域に対して、分割の基準点( $x_{base}, y_{base}$ )と各軸

<sup>◆</sup> 正会員 慶應義塾大学理工学部情報工学科  
[siraisi@ayu.ics.keio.ac.jp](mailto:siraisi@ayu.ics.keio.ac.jp)

<sup>▲</sup> 非会員 慶應義塾大学理工学部情報工学科  
[anzai@ayu.ics.keio.ac.jp](mailto:anzai@ayu.ics.keio.ac.jp)

方向の拡大幅 ( $dx_+, dx_-, dy_+, dy_-$ ) を指定する方法を実装している (図2) . 各パラメータの指定によって, 様々な領域分割(領域拡大)が可能であり, 本稿でも, この分割方法を採用する .

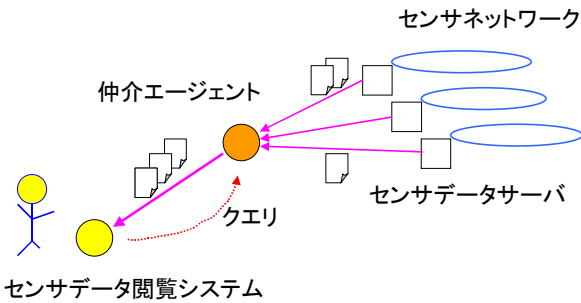


図1 データ提供システムの構成  
Fig.1 A Sensor Data Providing System

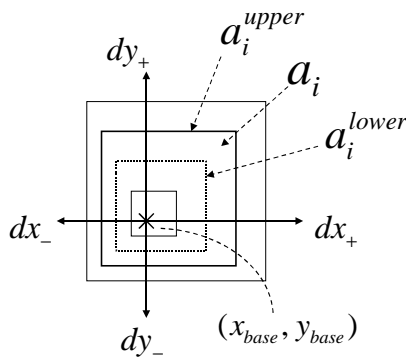


図2 問合せ領域の分割と空間制約  
Fig.2 Query Region Decomposition based on Spatial Constraints

空間制約に基づく領域分割によって, 問合せ領域は互いに重なり合わない領域に分割される (図2) . これらの分割領域を順序付けることで, 検索結果の転送順序が決定される .

$$A = a_1 \cup a_2 \cup \dots \cup a_k \quad (k \text{ は領域分割数}) \quad (1)$$

$$a_i \cap a_j = \phi \quad (i \neq j)$$

分割領域  $a_i$  は, 式 (3) の関係を満たす 2 つの領域表現 ( $a_i^{upper}, a_i^{lower}$ ) の差分領域として, 式 (2) のように表現される .

$$a_i = \begin{cases} a_i^{upper} - a_i^{lower} & (i > 1 \text{ の時}) \\ a_i^{upper} & (i = 1 \text{ の時}) \end{cases} \quad (2)$$

$$a_i^{lower} \subset a_i^{upper}, \quad a_i^{lower} = a_{i-1}^{upper} \quad (3)$$

### 2.3 センサデータの空間補間アルゴリズム

本節では, 空間補間に基づくメッシュ統合をインクリメンタルに行う手順について説明する .

空間補間 (空間内挿, spatial interpolation) は, 様々な地理情報処理に利用されている手法であり, ある地点のデータを周辺のデータを利用して推論するものである . 本稿では, 空間補間の手法として, Inverse Distance Weighted

(IDW) [10], [11] を採用する . IDW では, 近接点  $i$  の値を  $z_i$  とする時, 地点  $x$  の値  $z(x)$  を式 (4) を用いて計算する .

$$z(x) = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i}, \quad w_i = 1/d_i^2 \quad (4)$$

$w_i$  は,  $z_i$  に対する重みであり,  $d_i$  は点  $x$  と点  $i$  の距離であり, 近いデータほど計算結果に対する影響力が大きくなる . セルの中心点に関するデータを周囲のデータで補間し, そのセルの値とすることで, IDW に基づくメッシュ統合を実現できる . 本実装では, あるセル (target-cell) の値を計算するために, そのセルだけでなく周辺のセル (cover-rect) に含まれるデータを利用して, 式 (4) にしたがって各セルの値を計算していく (図3) .

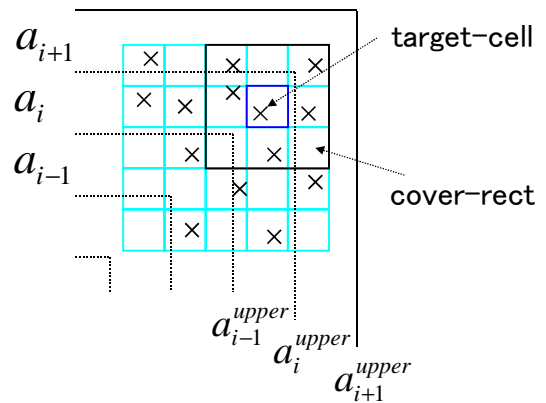


図3 領域分割に基づくメッシュ統合  
Fig.3 Mesh Integration based on Region Decomposition

空間補間に基づくメッシュ統合をインクリメンタルに行う場合には, クエリ要求時に, メッシュデータを生成し, その後は, 分割領域ごとに受信されるセンサデータを順番に処理していく . 具体的には, 分割領域  $a_i$  に対するセンサデータを受信するごとに, 次の処理を繰り返す .

中間結果の計算と保持 .

分割領域  $a_i$  と関連するセルの中から, 受信したセンサデータオブジェクトを含むセルを探し出し, そのセルの属性として, 観測データと位置情報を保持する .

集約処理の完了と表示 .

セル  $c$  について,  $cover-rect(c)$  がデータ収集を完了した領域, すなわち  $a_i^{upper}$  に含まれるかどうか調べ, 含まれる場合に, セル  $c$  の最終的な値を計算し, 結果として表示する .

図3に示すように, IDW に基づきセル  $c$  の値を計算する場合には,  $c$  だけでなく,  $c$  の計算に利用する周辺セルまでを覆う領域のセンサデータを収集しなければ,  $c$  の集約処理を完了させることはできない .

### 2.4 空間データ統合アルゴリズム

次に, 受信したセンサデータとポリゴンデータをインクリメンタルに統合する手順について説明する . ここでの統合とは, あるポリゴンデータに含まれるすべてのセンサデータを用いて, そのポリゴンデータの属性を計算することを指す . 統合対象である空間データ (ここではポリゴンデータ) を準備した後, 空間補間に基づくメッシュ統合の場合と同様に, 分

割領域  $a_i$  に対するセンサデータを受信することに、次の処理を繰り返す。

中間結果の計算と保持。

領域  $a_i$  と重なり合うポリゴンデータオブジェクトの中から、受信したセンサデータオブジェクト  $o$  を含むものを探し出し、条件を満たすポリゴンデータオブジェクト  $P_j$  に対する中間結果を  $o$  の持つ値を用いて計算し、その結果を  $P_j$  の属性として保持する。

集約処理の完了と表示。

中間結果の計算を行った後、 $a_i$  と重なり合うポリゴンデータオブジェクトの中から、 $a_i^{upper}$  に含まれるものを探し出す。そして、条件を満たすポリゴンデータオブジェクト  $P_n$  について、 $P_n$  が保持している中間結果を用いて最終的な集約結果を計算し、その結果を表示する。

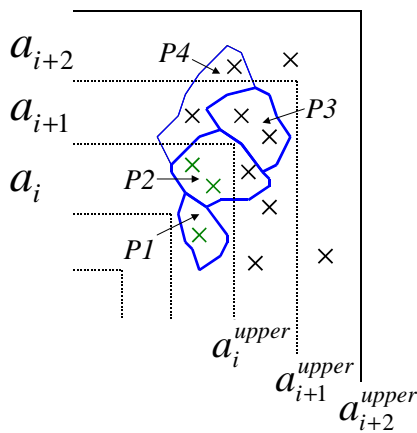


図4 領域分割に基づくポリゴンデータとの統合  
Fig.4 Integration with Polygon Data based on Region Decomposition

例えば、図4では、領域  $a_i$  のセンサデータを収集した時、

$P1$ の集約処理は完了するが、 $P2$ については中間結果を計算するのみである。 $P2$ の集約処理が完了するのは、 $P2$ を包含する領域  $a_{i+1}$  のセンサデータの収集を完了した時である。

### 3. 実験結果

本節では、Java 言語により実装したセンサデータ閲覧システムを用いた実験の結果についてまとめる。本稿の実験では、センサデータとして気象データ CD-ROM「アメダス観測年報 2000 年（気象庁提供、気象業務支援センター発行）、空間データとして国土数値情報[12]の行政界・海岸線データから抽出したポリゴンデータを利用した。アメダス観測年報 CD-ROM では、気温や降水量、風向・風速などの 1 年分の観測データが 1 時間ごとに各観測点ごとに記録されている。本稿の実験では、アメダスの気温データを時系列データとして管理するセンサデータサーバに対して、センサデータを要求する場合について調べる。なお、以降の実験でクエリ ( $Q$ ) のパラメータとして指定する問合せ領域 ( $A$ ) および空間制約 ( $SC$ ) の単位は、度である。

#### 3.1 空間補間に基づくメッシュ統合

まず IDW に基づくメッシュ統合に関する実験結果を示す。問合せ領域  $A_1 = \langle 135.93317, 32.760353, 142.75441, 39.33327 \rangle$  をクエリに指定し、空間制約として、分割の基準点を左下（南西）端点、分割幅を  $dx_+ = dy_+ = 0.5$  とした時の気温分布を、分割の様子とともに、図5に示す。図5の(a),(b)は途中結果に基づく気温分布であり、(c)は最終的な表示結果を示す。メッシュの各セルの大きさは 0.2 度四方である。図5の(a) (b) (c) に示すように、基準点に近い場所からデータ統合の完了した領域が時間とともに拡大し、右上方方向（つまり、北東方向）に向かって、インクリメンタルにメッシュ統合が行われていることがわかる。この例では、国土数値情報より抽出した都道府県レベルのポリゴンデータを背景データとして利用している。空間補間に基づく手法を用いることで、単なる点の分布という表現から、面的な連続性を持つ表現に変換できるため、センサデータ分布の全体的な傾向を把握する上で効果的であると考えられる。また、セン

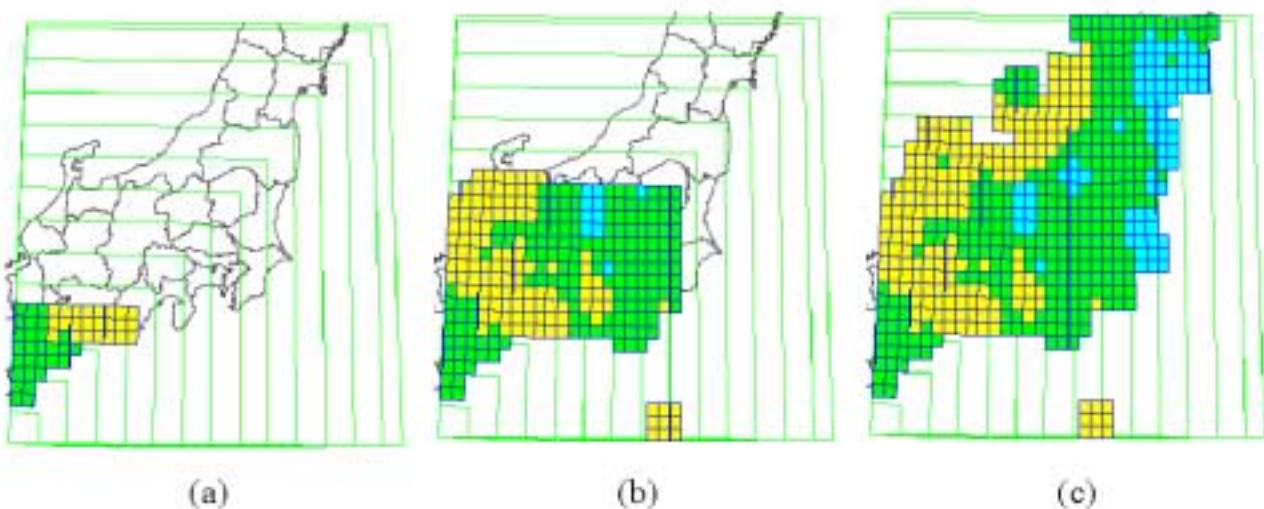


図5 IDW に基づくメッシュ統合による気温分布の表示

Fig.5 A Result of Mesh Integration based on IDW

サデータ分布の状態を逐次的に閲覧できるというだけでなく、空間データとの対応関係を把握しながら閲覧できる点も、インタラクティブなセンサデータ統合システムを実現する上で有用であると考えられる。

### 3.2 センサデータとポリゴンデータの空間統合

次に、気温データとポリゴンデータとの統合に関する実験結果を示す。本節の実験では、国土数値情報の都道府県レベルのポリゴンデータを利用し、各ポリゴンに含まれる気温データの平均値を統合結果として表示する。日本全土を覆う問合せ領域  $A_2 = \langle 123, 24, 146, 46 \rangle$  をクエリに指定し、分割の基準点を問合せ領域の左下端点、分割幅を  $dx_+ = dy_+ = 2.0$  とした時の空間データとの統合に基づく気温分布について調べた。

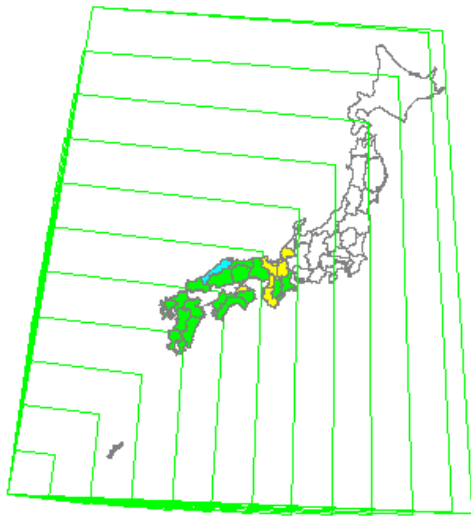


図6 空間データ統合に基づく気温分布

Fig.6 An Intermediate Result of Spatial Data Integration for Temperature Data

前節の実験と同様に、指定した空間制約に基づいて問合せ領域が分割され、基準点（左下端点）に近い領域から右上方向に向かって、インクリメンタルに統合結果が表示されることが確認された。図6は、検索の途中結果に基づく統合結果を示す。本手法により、単なるセンサデータの点分布と空間データの表示レベルの重ね合わせではなく、データレベルの統合処理をインクリメンタルに行うことができる。本稿では、行政区を表すポリゴンデータを扱ったが、今後、鉄道や道路を表す線データなど様々な空間データとの統合を扱える枠組に拡張していきたいと考えている。

## 4. まとめと今後の課題

本稿では、ネットワークを介してオンラインで提供されるセンサデータをインタラクティブに閲覧するためのインクリメンタルな空間集約手法を提案した。本手法は、分割領域ごとに提供されるセンサデータを、空間補間や空間データ統合などのアルゴリズムを用いて領域ごとに集約処理を行い、その集約結果をインクリメンタルに表示することができる。領域を考慮した集約処理の途中結果の提供は、集約のためのデータ収集やデータ統合のコストが高い場合に有用であると考えられる。“領域”という意味のあるまとまりで、インクリメンタルに集約結果が提示される点は、集約処理の途中に閲覧システムに対するインタラクティブな操作を実現する上で

重要である。

今後の課題としては、本稿で説明した集約アルゴリズムだけでなく、計算幾何学、地理情報システムの分野の技術に基づく様々な統合手法を実装し、それらの手法を柔軟に切り替えられる枠組を考案することが挙げられる。また、実際のセンサデータリソースから提供される多種多様なセンサデータをインタラクティブかつ柔軟に閲覧できるシステムを構築していきたいと考えている。

## 【文献】

- [1] Madden, S. and Franklin, M. J.: “Fjording the Stream: An Architecture for Queries Over Streaming Sensor Data”, Proceedings of 18 th International Conference on Data Engineering, pp.555-566 (2002)
- [2] Bonnet, P., Gehrke, J. and Seshadri, P.: “Towards Sensor Database Systems”, Proceedings of 2nd International Conference on Mobile Data Management, pp.3-14 (2001).
- [3] 大気汚染物質広域監視システム（そらまめ君）, 環境省, <http://w-soramame.nies.go.jp/>.
- [4] 川の防災情報, 国土交通省, <http://www.river.go.jp/>.
- [5] 防災気象サービス, 日本気象協会, <http://www.tenki.or.jp/>.
- [6] Hellerstein, J. M., Haas, P. J. and Wang, H. J.: “Online Aggregation”, Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp. 171-182 (1997).
- [7] Shanmugasundaram, J., Tufte, K., DeWitt, D. J., Naughton, J. F. and Maier, D.: “Architecting a Network Query Engine for Producing Partial Results”, Proceedings of WebDB 2000, pp.17-22.
- [8] 白石陽, 安西祐一郎: “位置情報に基づくセンサデータ統合のための逐次データ提供方式”, データベースと Web 情報システムに関するシンポジウム (DBWeb2002), pp.153-160 (2002).
- [9] 白石陽, 安西祐一郎: “空間検索のためのインクリメンタルなデータ提供手法”, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.42, No.SIG15 (TOD12), pp.15-29 (2001).
- [10] Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W.: Geographic Information Systems and Science, John Wiley & Sons, Ltd.
- [11] McCoy, J. and Johnston, K.: ArcGIS Spatial Analyst ユーザーズ・ガイド, ESRI (2001).
- [12] 国土数値情報ダウンロードサービス, 国土交通省国土計画局総務課国土情報整備室, <http://www.nla.go.jp/ksj/>.

## 白石 陽 Yoh SHIRAIISHI

平成 14 年慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程単位取得退学。平成 14 年より慶應義塾大学理工学部情報工学科特別研究助手。空間データベース、地理情報システムに関する研究に従事。情報処理学会、日本データベース学会各会員。

## 安西 祐一郎 Yuichiro ANZAI

昭和 49 年慶應義塾大学大学院博士課程修了。昭和 63 年より慶應義塾大学理工学部教授。平成 13 年より慶應義塾塾長。昭和 56 ~ 57 年カーネギーメロン大学客員助教授。工学博士。計算機科学、認知情報処理の研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、日本認知科学会、ACM、IEEE 等各会員。