

# リアルタイム位置データを基にしたクローンシミュレーション :ワールドカップ札幌会場におけるケーススタディ Clonne Simulation based on real-time location positioning data: Case study of FIFA World Cup in Sapporo\*

羽藤 英二\*\* , 白石岳\*\*\* , 高野精久\*\*\*\* , 丸山隆英\*\*\*\*\* , 三谷卓摩\*\*\*\*\*  
By Eiji HATO, Takeshi SHIRAISHI, Kiyohisa TAKANO, Takahide MARUYAMA and Takuma MITANI

## 1. はじめに

IPv6 のアドレス空間では、個人の位置と場所を特定しながら時空間データをリアルタイムに取得することが可能となる。これらの基礎データは、移動体通信、Bluetooth 端末、無線タグや IC カードなどの複数メディアにより収集され、各種データをネットワークを介して統合することで利用可能になる。収集可能となった位置データを蓄積するだけでは、多様化する都市空間上での人の移動-活動をリアルタイムに解析し交通運用施策を検討するには困難である。移動オブジェクトの時空間データは追記型で扱う必要があり、データ量は時間に比例して単調増大する。POS データなどのデータウェアハウス活用技術として注目されている OLAP(On-Line Analytic Processing) 技術を、都市交通解析に適用することを視野に入れ、非定型の分析的問合せ処理を指向したシミュレーションシステム設計を行う必要がある。以上の背景の下、本研究では移動体通信を使ってリアルタイムに収集可能な位置データを基本としたクローンシミュレーションと、これを用いた情報配信システムのフレームワークの検討と評価を行う。検討した配信システムは実装した上で、FIFA ワールドカップ™ の札幌大会において評価実験を行った。

## 2. モデルフレームの検討

本節では、検討したシステム構成を図-1に示す。リアルタイム処理を前提としたクローンシミュレーションに基

\*キーワード: データベース

\*\*正員, 博(工), 愛媛大学工学部環境建設工学科

(〒790-8577 松山市文京町3, hato@en2.ehime-u.ac.jp)

\*\*\* (株) トランスフィールド

\*\*\*\* 正員, (株) サーベイリサーチセンター 都市交通部

\*\*\*\*\* 正員, 国土交通省 国土交通政策研究所

\*\*\*\*\* 学生員, 愛媛大学大学院環境建設工学専攻

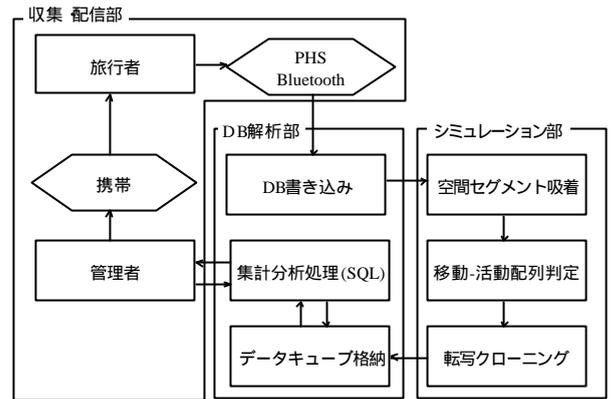


図-1 シミュレーションシステムの構成

づいて位置に応じた情報配信を携帯端末を用いて行う。システム構成として、1)データの収集と情報配信部 2)データベース部 3)シミュレーション部で構成されるオンラインシミュレーションを考える。

### 2.1 モデルのスケールと位置データの精度

ワールドカップのような大規模イベントの評価で、短時間に集中する交通需要、隘路における極端な通過時間といった交通現象を評価する場合、ミクロスコピックな評価モデルの枠組みが必要となる。イベントホールや周辺施設はゾーンというよりもそれぞれが独立した施設であり、これらの施設と直接結合するネットワークのトポロジカルな構成そのものが、大規模イベント時の交通計画に大きな影響を与えるからである。これに対して、マクロスコピックなモデルでは、その評価指標はある程度集計的なものになるため、利用者レベルで通過時間や、待ち行列長などのMOEを直接評価することは難しい。ワールドカップのようなイベントにおいて、隘路周辺における通過時刻やスタジアムにおける交通需要の集散分布などを正確に評価するためには、移動する観客の位置データをある程度正確に測定すると共に、対象となるエリアに

## 位置特定技術のスケール

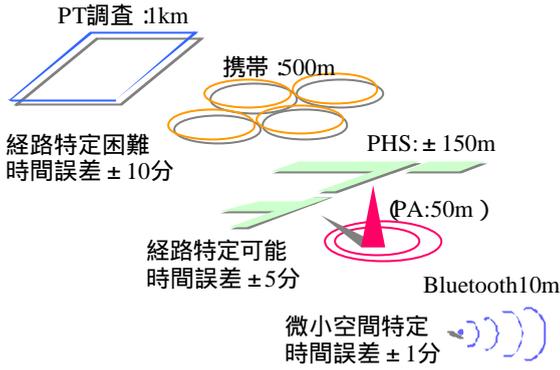


図-2 位置特定技術の精度

において主要な地物オブジェクトをゾーンに集約させないで取り扱う必要がある。マイクロセルラーを用いた位置特定技術では、セル範囲が数百mと小さいため、通常のセルラ環境に比べ、位置特定精度が得られやすいことが知られている。但しSAの解除が進むGPSに比べ位置精度は約60m程度と高いといえない。マイクロセルラーでは位置精度は、セルの大きさや、マルチパスの影響を受ける。マルチパスは地物影響されない直接波に加え、什器や地物による反射・回折などを原因として発生するもので、受信機が移動することによりフェージングを伴った精度は著しく低下する。局所的な空間への需要の集中を評価したい場合、ICカードやBluetoothのようなメディアとの組み合わせが重要となる。ICカードや、Bluetooth、電波タグは10m以内の精度で位置を特定する。本研究では、Bluetoothを用いることで、イベントホール周辺エリアの人の動きを正確にトレースすると共に、トリップ全体については移動体通信システムを用いて位置計測する。

## 2.2 シミュレーションシステムの構成

### 2.2.1 空間セグメントへの吸着

個人  $i$  の  $t$  時点の位置データベクトルが得られることを仮定する。

$$Data_i = \{x, y, t\} \quad (1)$$

式(1)で表される位置データベクトルは、生データの位置精度上の問題により空間上の位置特定ができない場合がある。そこで DRM などの空間データをもとにネットワークや施設に吸着させる。空間セグメントは情報配信のユ

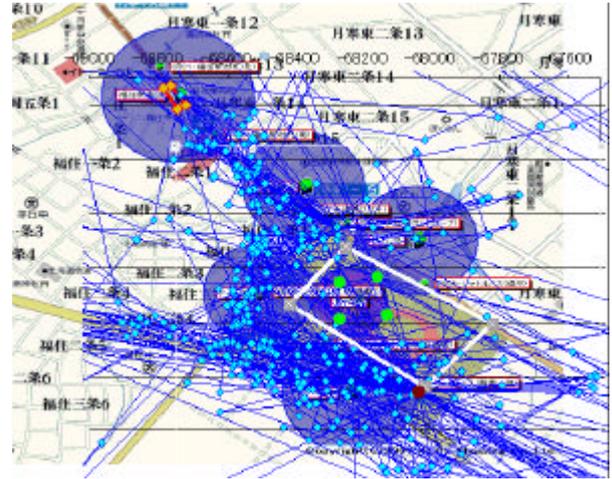


図-3 空間セグメント

個人 1	A 1	A2	T
個人 2	A2	T	A3

図-4 移動-活動配列基

ニットを考慮して構成する。図-3 に例を示す。

本研究では、隘路における空間混雑の状態を情報として個別メール配信することを考え、空間セグメントとして札幌ドーム周辺、バス停周辺×2 箇所、ドーム 地下鉄福住駅、福住駅構内の5つのセグメントとした PHS を用いた位置特定システムでは50m 以内の位置精度を得ることが難しいため、空間セグメントの範囲を半径 200m の円で設定し、その円内に入った位置データベクトルを該当する空間セグメントに吸着させ、空間密度の計算などの指標の計算を行うと共に情報配信を行う。

### 2.2.2 移動-活動配列

個人  $i$  について得られた位置データベクトルを基に移動/滞在の判定を行う。時間的に連続する2つの観測点の距離  $d$  が事前に与えた閾値  $D$  より小さい場合、時刻  $t \sim t+1$  の間に移動はないと判定する。閾値  $D$  は時間間隔  $dt$  と位置特定精度  $a$  により決定する。識別は時刻の順にオンライン処理で行う。このため、暫定的移動点と確定移動点の2種類を考える。 $t$  点は、まず  $t-1$  点との関係より暫定的移動点となる。次に  $t+1$  点との関係を確認した上で、2点間の距離  $d$  が閾値  $D$  より大きい場合は  $t$  点を「確定移動点」、2点間距離  $d$  が閾値  $D$  より小さい場合は  $t$  点を「滞在点」と判定する。

この操作と、参照できる空間データベースにおける施設の種類などによって例えば式(2)で表されるような移動

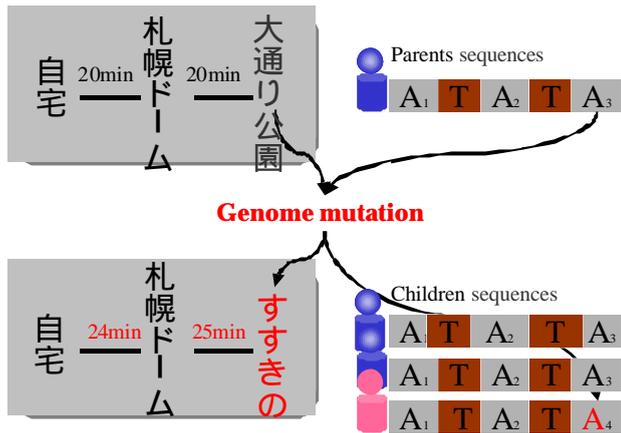


図-5 移動-活動配列の転写方法

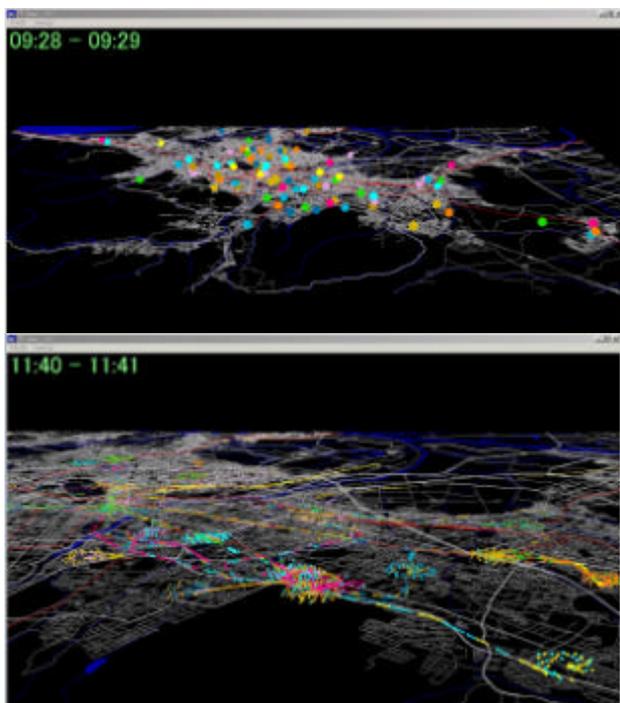


図-6 観測データ(上)とクローニングシミュレーションの画面(下)

-活動配列を作成する。

$$OT_i = [TCACOSAXB] \quad (2)$$

TやCは活動の種類を表す。移動-活動配列は、図-4に示すように、それぞれの識別子が長さを持ち、この長さは時間を示す。ここで、式(2)で得られる移動-活動配列の型を保持することで、各種移動-活動間の関連性を分解しないアプローチを考える。移動-活動配列の組み合わせ相互作用が大きいようなケースでは有効と考えら

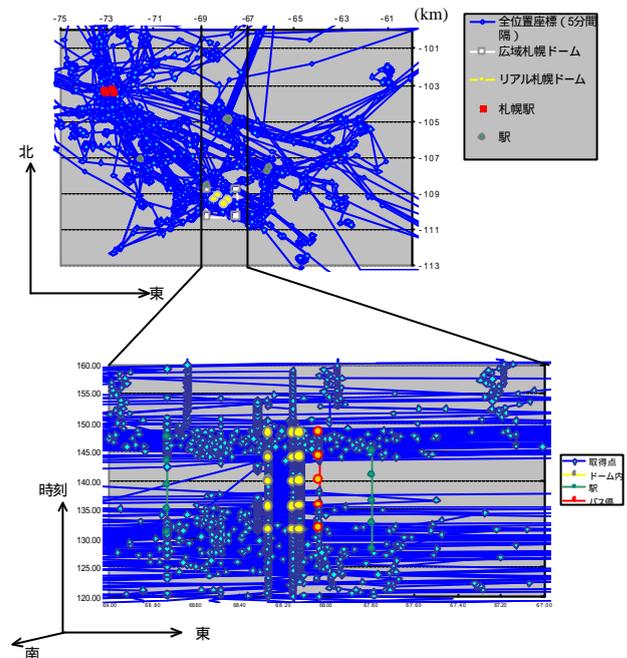


図-7 位置データ配列

れる。

次に母数拡大のための配列の増殖を行う。式(1)から得られる観測可能な移動-活動配列を親配列として子配列を生成する(図-3)。この際、式(2)で表される配列の組み合わせを保持する。移動速度にばらつきを持たせるとともに、配列に任意の確率で突然変異を発生させることで、会場に集散する移動オブジェクトのデータ配列を補完的に発生させる。以上のステップにより移動オブジェクトの位置データを空間上に再現する。

### 2.2.3 データベース構造

シミュレーションにより再現された母数に相当する某大なデータ配列(図-7)を効果的に格納し、解析が必要がある。データベースに一旦データを格納する際に、空間領域と時間方向及び計算コストを考慮して、葉ノードと上位ノードを構成する。このとき空間セグメントの最小単位を決定する必要がある。本稿のケーススタディでは大規模イベント時の需要の集中と分散に伴うOLAPによる情報配信を考えている。イベント施設内を中心として、各駅端末までの隘路の混雑状況や、地下鉄の運行状況、待ち時間、活動種別ごとの問い合わせが考えられる。典型的な問い合わせの単位を分析し、計算コストを最小化するセグメント構成が必要となる。

データ構造を設計する上で、各ノードに含まれるデー

タ分布の偏りを抑制する必要がある。分析対象空間セグメントの広さと時間、及び対象空間に含まれるオブジェクト数の積を一定範囲に抑える処理が求められる。ここで実際に特定 OD 間の所要時間情報などを生成する場合には、各ノード内のデータの領域和を多数要求することになる。本研究では、領域和を処理する際に用いる元データ構造のセルに関する和を格納したデータキューブを用意する。D=1,2, dをデータ構造の次元とし、 $n_i$  を次元 i に含まれるセル数とする。このとき、元データで和を求めるには、以下の式(3)で表されるアクセス回数が要求されることになる。

$$N = \prod_{i=1}^d n_i \quad (3)$$

一方 d 次元のデータキューブを構成すると 2d 個の和は 2d+1 回のアクセスで求めることが可能となる。このように領域和を、一定のデータアクセス回数で求められることがデータキューブの利点である。

### 3. ケーススタディの概要

札幌で開催された2002FIFAワールドカップのうち、6/1のドイツ-サウジアラビア戦と、6/3のイタリア-エクアドル戦においてシミュレーションシステムと情報配信システムの評価実験を行った。札幌ドームの収容人数は約4万人であり、セキュリティチェックの厳重化などの理由により会場付近での交通容量が低下し、交通混雑が予想されていた。

位置データの測定は2種類の方法で行った。札幌都市圏全体において位置精度±200m程度で位置を特定するためにPHSを用いた。さらにBluetooth受信PCをドーム周辺及び主要駅20箇所に設置し、Bluetooth機能つき携帯電話を持った観客が通過した際、ユニークなアドレスを割り振った。得られた位置データは、札幌市内に設けられたポータブル交通管制センターのDBに一定周期で書き込まれる。この際Bluetoothから得られた位置データについても設置されたPCの場所の緯度経度を参照し、PHSから得られる位置データと同一フォーマットで書き込んだ。

情報配信には携帯電話のメール機能を利用した。

配表-1 メールによる個別情報配信の利用状況

受信し情報を見た	59
受信したが見なかった	8
受信を希望しなかった	28
無回答	4

\*単位は人数

信場所は、1) 出発前朝、2) 往路途中、3) 観戦中、4) 復路途中とし、PHSにより得られた位置データを吸着させた空間セグメントに対応した混雑状況と、現在地からドームもしくは大通り公園までの所要時間情報を配信することとした。

システムの実際の運用では6/1にプレ実験を実施し、データ収集の稼働率などの確認を行った上で、6/3にリアルタイムシミュレーションと情報配信実験を実施した。

配信実験についてアンケート調査を実施した。結果を表-1に示す。メールによる交通情報を見た人は全体の約6割であった。一方で受信したが見なかった人も8名おりメールの着信そのものに気づいていないことなどが理由として考えられる。また携帯のアドレスを保持していないなどの理由で情報を必要としない人も全体の約3割存在する。アンケートの別の項目で、位置データを何らかのかたちで公共目的に提供してもよいと答えた人が全体の95%であったことを考えると質の高いデータを提供してくれる場合、役に立つ情報を配信するだけでなく、謝礼などの措置も重要と考えられる。

### 4. 今後の課題

移動体通信から得られるリアルタイム位置情報をベースに、OLAPを前提とした空間シミュレーションと情報配信システムのフレームワークの提案とケーススタディを行った。アノニマス関連技術の開発とリアルタイム追記型DBを基にしたリアルタイムシミュレーションの再現性評価が今後の課題であろう。また実際の適用において某大な個人位置データを利用する場合、平成14年通常国会において個人情報保護法が継続審議される中で、コンプライアンス体制を整備しつつ、個人情報取扱事業者の制限についての議論を待たねばならない。