

多様な観測データや知識を用いた地物の時空間変化の再構成手法

関本義秀・柴崎亮介

Reconstruction method for spatio-temporal change of feature from various
observation data and knowledge

Yoshihide SEKIMOTO and Ryosuke SHIBASAKI

Abstract: Recently, in the field of ITS (Intelligent Transportation System), marketing and disaster prevention, data with finer spatio-temporal resolution with respect to time, space and attribute will be needed for spatio-temporal database compared with the resolution of existing maps or statistical data. On the other hand, many kinds of spatio-temporal data are being repeatedly acquired or generated, such as pseudolite or electric tag, etc. in addition to existing GPS, PHS, traffic counter and monitoring camera. However, those data are still so fragmentary and may have some errors that we cannot always directly monitor dynamic changes of the spatial objects or features with sufficient spatio-temporal resolution. Therefore we need to develop a method for arranging various kinds of spatio-temporal data and inferring the most probable spatio-temporal state of feature. In this research, we give a reconstruction algorithm and propose GIS reasoning for reconstruction of spatio-temporal change of feature. Furthermore we show some application examples for some fields and illustrate business model based on this type of GIS.

Keywords: 再構成 (reconstruction), 時空間位置 (spatio-temporal position), 観測データ (observation data), 知識 (knowledge)

1. はじめに

近年, ITS (Intelligent Transportation System)・マーケティング・防災等の分野で経路情報, 滞留情報など時空間データに対するニーズが増加している。

すなわち, 時々刻々とダイナミックに変化する人間や車両あるいは建物などの地物に関する情報を集めることが要求されているため, 既存の地図や統計データよりも時間, 空間属性の点から精度あるいは分解能の高い地物の時空間データベースを用意することが必要である。実際にはGISはカーナビゲー

ションや施設管理のように地物の情報を提供することを主眼として進歩しており, そのようなデータベースに基づいた, より高度なサービス展開が期待されている。

一方, 様々なセンサー技術あるいはネットワーク技術の発展により, GPS, PHS, トラフィックカウンタ, 監視カメラなどの従来の技術に加え, シュードライト, 電子タグ, 情報家電の稼動状況など多様な時空間データの取得可能性が広がってきている(表1)(天野ほか, 2002; 朝倉ほか, 2000; 趙・柴崎, 2000; 青木, 2001; 小越ほか, 2002; 高島ほか, 2001など)。

関本: 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地
国土交通省国土技術政策総合研究所
高度情報化研究センター情報基盤研究室
Tel 029-864-2211 内線(3842)
E-mail sekimoto-y86q6@nilim.go.jp

表1 様々な時空間データの取得技術

データ取得 間隔	非集計データ		集計データ	
	一定の時間間隔	イベント時のみ	ある時間単位で集計	ある時間単位かつネットワーク空間で集計
既存のデータ	GPS, PHS, ジャイロ, 加速度計によるトラッキングデータ	チケット予約データ, クレジットカード情報, 携帯・PHSのログ情報	自動改札データ, トラフィックカウンタデータ, 監視カメラ, POSデータ	パーソントリップデータ
将来利用可能性のあるデータ	自動車の稼動状況データ (プローブカー) など	シュードライトや電子タグによるトラッキングデータ	情報家電の稼動状況	列車搭載重量データ

たとえばGPSやPHSなどはある特定の人間や車両などの瞬間的な時空間位置を一定の時間間隔で取得できる非集計データであり、トラフィックカウンタは対象とするエリアを通過した人数をある時間単位ごとに取得した集計データである。またチケット予約データはイベント時刻にその場所に行くであろうことを表す時空間データであり、情報家電の稼動状況は時間ごとのある建物内の大まかな人数を把握できるデータである。パーソントリップデータのようなものはさらに、A駅からB駅までのリンク交通量が1時間で何人というようにネットワークレベルで集計されている。

しかし、このように人間や車両等の地物に関して取得されたデータはあくまで断片的であり誤差も含むことも多いため、たとえば数箇所の断面交通量データから全体的な交通流がすぐには分からないように、簡単に全体像を把握するのは難しい。また実務的な側面では、綿密な観測計画が立てられなかった観測データを利用する場合や既存の観測データを多目的に活用する場合などを考慮すると観測時の情報を観測データとともに保持する必要がある。

一方、従来のGISはすでにほぼ完全なデータがあることを前提にその管理、検索、表示、解析などを支援することを目的にしているために、断片的な観測情報から全体像を推定するといった機能は従来のGISではカバーされていない。そこで次世代的なGISの一つの方向性として、多様な時空間データを整理し、それらから誤差を包容しつつ妥当な地物の時空間的状态を推論する方法論が必要になるはずである。

理論的には地物の観測データに対して尤度最大化基準で推定し、しかも地物に関する知識を事前確率という形で導入するという尤度最大化基準に基づくベイズ推定法が一つの方法であるが(大津, 1988; 麻生ほか, 1997)、様々なニーズに対し多様なデータから知りたい地物の有無や状態を再構成するための一般的な方法論は提案されていない。またこうして動的に最適化問題を構成し、効率的に解くこと自体が大きな問題である。そこで本研究では、移動物を含めた地物を対象にした一般的、体系的な推定手法の枠組みを提案し、今後実装方法も含めた効率的な解法の開発を行っていくための基礎とする。

このように多様で予想以上の誤差を含む断片的なデータから地物の時空間位置を再現できることにより、人の流動や車の混雑具合などが再現しやすくなり、マーケティングにおける販売戦略、施設立地計画やITSにおける交通施策あるいは防災における避難誘導、ブース配置などにもより高度なレベルで反映させることが可能になる。もちろんこのような研究は実分野への適用上、交通など特定の分野で見られるようになってきたが(小根山・桑原, 1997; Handley et al., 1998; Shibasaki and Huang, 1996; Tanaka et al., 2001)、より一般的な視点からまとめた研究はない。

2. 本研究での手法

この章では、様々な時空間データから地物を再構成するアルゴリズムについて述べる。まず2.1節では再構成という観点から取得された多様な時空間データを構造化するために、我々が提案してきた

FEOモデルをその適用例とともに簡単に説明し、2.2節では構造化されたデータに基づく再構成のフレームワークについて詳細な説明をする。

2.1 FEOモデルを用いた時空間データの構造化

近年、GIS・CGなどの分野ではLangran(1989), Cameron(1990), 大沢・金(1998), 飯村ほか(1998), 黒木・牧之内(1999), 太田(1999), 畑山・松野(2000)のように、従来の空間的表現に時間的要素を導入した地物の時空間表現に関する研究が進展してきており、ISO/TC211やOGC等における地理情報の標準化活動もまとまりつつある。しかし基本的にはどの研究も地物の時間的な変化を時々刻々と記述する「正しい」データが既に存在するという前提に基づいている。それにもかかわらず現実には地物の時間的・空間的变化に関するデータは、断片的にしか観測されないことも多い。結局、通常与えられる観測データだけから地物の時間・空間的な変化を記述することは困難であり、断片的観測データから地物が実際にはどのように時間・空間的に変化したかを推定する、すなわち地物の時間・空間的な状況を再構成する手法が不可欠となる。しかし、こうした手法を一般的な地物の状態推定を対象として提案している例はない。

そこで、筆者らは地物そのものを表現するモデル(Featureモデル)に、地物を観測するモデル、すなわち地物のある部分を観測を通じて「写し取る」モデル(Observationモデル)と地物固有の特性からだけでは説明できない外乱要因を表現するモデル(Eventモデル)を加えた、より一般的なモデルを提案してきた(関本・柴崎, 2000; Sekimoto and Shibasaki, 2000)(図1)。

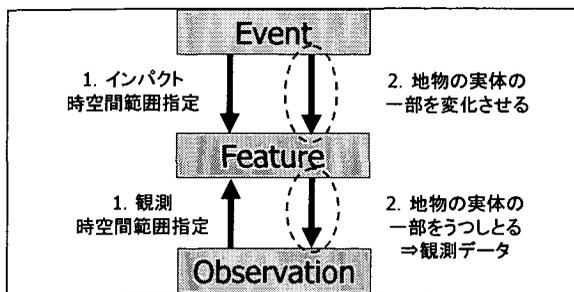


図1 FEO(Feature/Event/Observation)モデル

観測モデルではどのように観測対象を写し取っているかについて記録できるよう、観測の対象時空間範囲、対象地物の属性等に関する情報を表現し、またイベントモデルでは、いかに影響対象にインパクトを与えているかを記録できるよう、影響の対象時空間範囲、対象地物の属性等に関する情報を表現する。これにより、ある地物に対する観測の状況・結果や、外乱要因が地物に影響を与える状況を再現する。ここでは観測モデルの内容とその適用例として表2でGPSによる測位と自動改札による人数把握について記述した。

表2 観測モデルとその適用例

観測モデル	GPSによる位置特定	自動改札による人数特定
1. 開始・終了	位置特定の開始・終了	駅の開放・閉鎖
2. ふるまい		
1) 自身の変化	なし	なし
2) 観測		
(1) 時空間範囲	電波受信可能空間でいつでも	改札間を例えば1時間
(2) 対象地物		
タイプ	特定のある人間	不特定多数の人間
関連タイプ	なし	なし
属性タイプ	位置座標	通過フラグ
(3) 観測手順	位置誤差を伴い観測する	人数誤差を伴い集計観測する
(4) 観測データ	例) X=○○ Y=△△	例) 120人/1時間
(5) 観測誤差	例) 標準偏差10m	例) 2,3人程度
3. 関連	なし	なし
4. 属性	X社製	Y電鉄所有

開始・終了についてはGPSでは「測位開始時刻・終了時刻」とし、自動改札では「駅の開始時刻・閉鎖時刻」とした。変化等の自身のふるまいについてはこの場合は特になく、観測モデル固有な観測メソッドでは対象時空間範囲、対象地物のタイプ、関

連タイプ、属性タイプ、また観測手順、観測データ、観測誤差などを記述し、この例では、「電波受信可能空間で任意の時間」あるいは「改札間を1時間の間」などを時空間範囲とする。また、GPSは特定のある人を対象としているのに対し、自動改札の場合は不特定多数の人間を対象地物とする。それらの対象地物に対し、位置座標や通過フラグが属性タイプとなり、観測手順では誤差モデルの適用や集計を行うかどうかなどを記述している。そして各観測データや誤差などの特徴を書いている。これらのモデルにより、観測状況やイベント状況などの再現シミュレーションが可能となる。具体的な実装イメージとしては、(3)の観測手順が観測のアルゴリズムであり、(1)の時空間範囲や(2)の対象地物がそのための引数であり、(4)の観測データや(5)の観測誤差が返り値となる。

2.2 再構成の枠組み

最適化の枠組み

ここでは前章に基づき構造化された時空間データから再構成を行う枠組みを示す。基本的には個別の地物オブジェクトの時空間位置を、観測モデルが持つ観測データから推定を行う。さらにベイズの定理を用いることにより、地物に関する知識を時空間位置の生起確率という形で組み込むことができる。すなわち地物の時空間知識に関する知識と観測データに対して妥当になるよう推定を行うことを意味し、理論的には再構成された時空間位置 $\hat{\theta}$ は以下のような数式で表現できる。

$$\hat{\theta} = \arg \max p(\theta | d) \quad (1)$$

ただし

$$p(\theta | d) = \frac{p(\theta)l(d|\theta)}{\int p(\theta)l(d|\theta)} \propto p(\theta)l(d|\theta) \quad (2)$$

{	$\theta \equiv (x, y, z, t)^t$	地物の時空間位置シーケンス
	d	地物の観測データ
	$p(\theta)$	知識に基づく地物の生起確率
	$l(d \theta)$	尤度関数

すなわち、ある時空間位置シーケンスの生起確率とその時空間位置シーケンスに対する観測データの尤度を掛け合わせた評価値が最大となるような時空間位置シーケンスが地物の再構成すべき時空間位置である。いいかえれば、とりうる時空間位置シーケンスの中から一番評価値が高いものを選択することになる。評価値を算出する際に用いる情報は2.1節で構造化したデータを用いて構築できるようになっている(表3)。例えば尤度関数は観測モデル中で定義され、観測データは個々の観測オブジェクト中で保持される。知識に基づく地物の時空間位置に関する生起確率は一般的な知識であれば地物モデル中で定義する。

表3 評価値算出のための情報

情報項目	所属オブジェクトとその形式
尤度関数	観測オブジェクト中で定義
観測データ	観測オブジェクト中で保持
生起確率	地物オブジェクト中で定義

観測モデルによる擬似観測と尤度計算

尤度関数に入力し尤度を自動計算する場合、まず観測データに対応するデータを解候補の中から自動的に見つける必要がある。そこで本研究では、解の候補に対して観測オブジェクトが擬似観測を行い「観測されるはず」のデータを取得する。それから実際の観測データと比べ尤度計算を行う。すなわち、図2に示したように解候補として表現されたある地物の時空間位置に対して、観測オブジェクトが実際

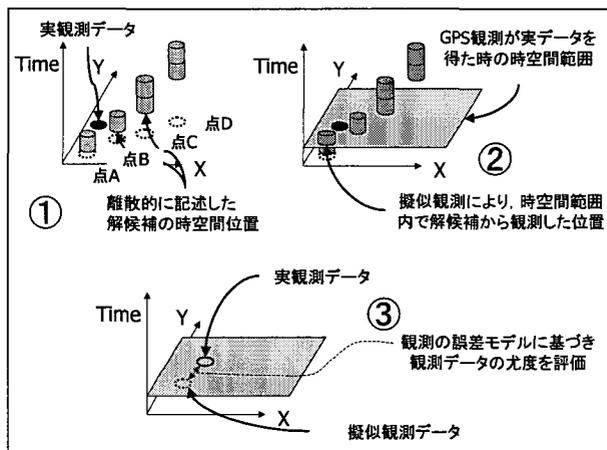


図2 観測モデルに基づく擬似観測と尤度評価

の観測データを取得した際の時空間範囲を用いてそこに引っかかるものが擬似観測によって得られた位置データということになり実観測データと比較を行う。その時空間範囲も2.1節で記述していたものである。

知識による解候補の生起確率計算

各知識では、地物がとり得る時空間的状态を記述したいくつかの選択肢をそれぞれの生起確率とともに持たせる。それによって、解候補が属すべき選択肢が特定された後に自動的に生起確率を求めることができる。しかし、その属すべき選択肢を特定するアルゴリズムは、今の所、知識の特徴に依存しており、今後、より汎用的にすべき検討事項である。

遺伝的アルゴリズムを用いた最適解の探索

算出した尤度と生起確率を合わせた評価値に基づき、最適な実際の地物の時空間位置を探索する。この最適化問題に我々は遺伝的アルゴリズム(GA)を使うこととし、その理由として以下が挙げられる。

- (1) 広大な解空間中でもグローバルな最適解を見つけやすい
- (2) 時空間位置を個体の配列表現で表しやすい(図3)
- (3) シンプルな配列表現により多様な観測や知識との比較が行いやすい

具体的なGAの手順は基本的なものである、初期解生成、評価、淘汰、交叉、突然変異(以降、評価から突然変異まで世代数分繰り返す)とする。もちろん、GAを用いて最短経路等を求めた研究はGoldberg and Lige (1985), Grefenstette et al. (1985), 山村ほか(1992), 狩野ほか(2002)等多数あるものの、経路情報から経路を決定するだけでなく、地物を断片的に観測したデータにも整合性が取れるように推定する

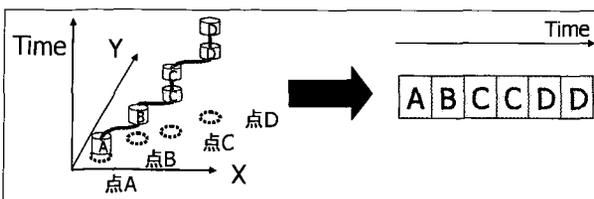


図3 GAの個体における時空間表現

という意味では既存のものとは根本的に異なる。

再構成した時空間位置の評価

前節までの流れで求めた最適解を最後に評価しておく必要がある。シミュレーション実験のように真値がわかっている場合には再構成した時空間位置と真のものを比較できる。もし軌跡などのように非集計的に時空間位置を評価する必要があるときには、同じ時刻での位置ずれを累積したものを評価値とできる(たとえば位置誤差の平均値は5.3mといったように)。しかしふつうは、対象地物すべての非集計データを十分に得られないため、非集計で評価してしまうと、高い精度を得るのはかなり難しい。そこで、もともと非集計的な時空間位置にはそれほど興味がなく時間ごとの通過人数、滞在人数などが単純に知りたい場合は、いくつかのチェックエリアや区間を設け、その通過、滞在人数を集計し比較してもよい。

3. 数値実験

この章では、2章で提案した手法を用いて人の流れや分布について2種類の再現をシミュレーション実験で行う。一つは一人の人間の時空間位置を再現するもので、もう一つはより大規模な人数の人間を再現するものである。シミュレーション実験の場所として展示場を想定し、人は点在するブースを歩き回っているとす。

3.1 1人の時空間位置の再現

まず一人の時空間位置の再現を行い、以下のよう

に3つの条件で比較実験をした。

条件1. 十分に非集計の観測データが得られる場合(GPSデータが1分ごとに得られる)

条件2. 十分には非集計の観測データが得られない場合(GPSデータが3分ごとにしか得られない)

条件3. 十分には非集計データが得られず、他の集計データ(6箇所のトラフィックカウンタによる1分ごとの通過人数データ)といくつかの人間の動きに関する知識を追加した場合

条件3の知識については次のようなものである。

- (1) 展示場における歩行速度は最大毎分25mである。
- (2) 起終点の位置は既知である。
- (3) 人間は30度以内の鋭角ではターンしない。
- (4) 壁は通過しない。

他の共通な条件については、表4に記述し、結果は表5にまとめ、各条件での時空間位置の再構成解と真値の比較は図4、図5、図6に図示した。もちろん実験1では最適解はGPSの位置座標を結んだものとなり、真の位置にかなり近い。しかし実験2のように十分な観測が得られない時はローカルな最適解に陥り悪い結果になる。しかし、トラフィックカウンタによる集計データやいくつかの知識を付け加えた場合は計算時間がかかるものの精度はかなり向上する。

表4 実験における環境条件

実験エリア	60m四方の空間にブースがいくつか存在し、一部は壁があり通過できない
対象地物	人間が10分間移動する
GPSトラッキング	標準偏差2mの正規分布を持つ誤差関数
再構成実験の試行回数	10回
再構成の時間間隔	1分間隔
GAにおける個体数	200
GAにおける世代数	200
GAにおける淘汰法	適応度比例戦略
GAにおける交叉法	一点交叉
GAにおける突然変異	変異率0.05
GAにおける探索	上記の操作に加え、10世代に1回山登り法を行い、評価値最良の個体についてランダムに選択した遺伝子座を改善した。
再構成後の評価法	1分ごとの平均位置誤差

表5 1人の時空間位置の再構成比較

実験条件	計算時間	平均精度	最良精度	精度分散
条件1	41sec	3.8m	3.8m	0m
条件2	20sec	14.6m	9.9m	0.8m
条件3	1358sec	13.4m	6.2m	1.6m

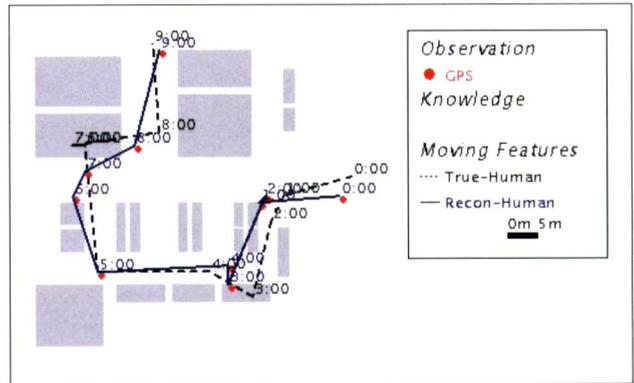


図4 時間的に密な非集計データから再構成した時空間位置と真値の比較 (条件1)

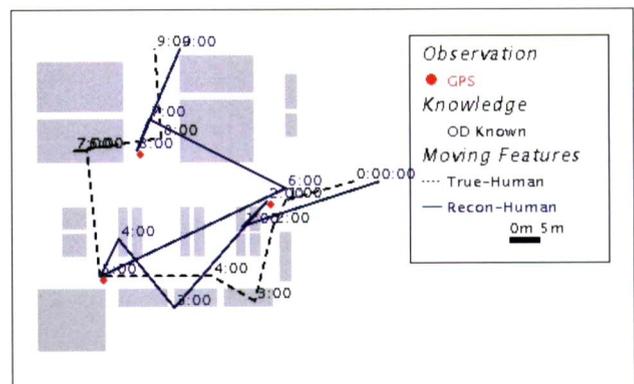


図5 時間的に疎な非集計データから再構成した時空間位置と真値の比較 (条件2)

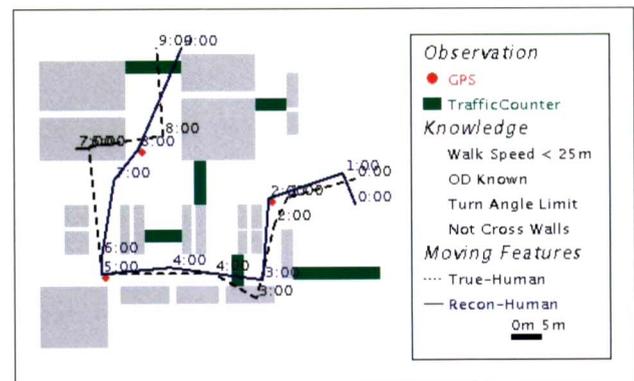


図6 他の観測データや地物に関する知識を加えて再構成した時空間位置と真値の比較 (条件3)

3.2 多人数の時空間位置の再現

この節では、同様の実験を10人や100人の多人数で行い、解が収束するまでにかかる計算時間、軌跡に関する再構成値と真値の平均誤差（非集計精度）、ブースごとの滞在人数に関する真値と再構成値の比較（集計精度）の結果を表6にまとめた。非集計的な精度や計算時間はかなり悪化してしまうものの集

計精度に関してはそれほど悪化しないことで今後、対象規模をより拡大することへの道筋はつかめるといえよう。実際に図7の非集計的な時空間位置では真値と再構成解での差がかなり見られるが、図8の集計的な表現の場合はそれほどではない。

表6 多人数の場合との再構成の精度比較

人数	収束までの計算時間	非集計精度	集計精度
100人	150時間	10.1m	5.6人
10人	2.1時間	5.5m	0.6人
1人	21分	5.2m	0.1人

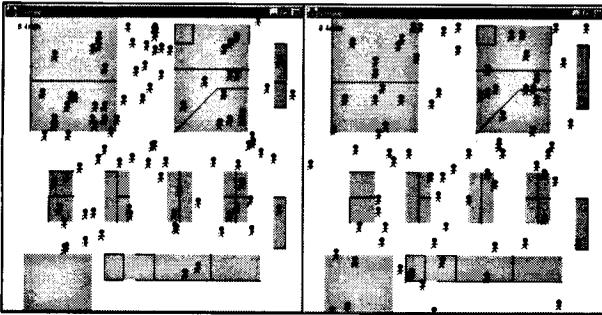


図7 ある時点の100人の時空間位置の比較 (左: 真値, 右: 再構成値)



図8 ブースごとに集計した人数の比較 (左: 真値, 右: 再構成値)

3. 3 考察

本数値実験では以下の観点から再構成の方法を検討してきた。

- (1) 枠組みの実行可能性
- (2) 計算時間の効率化
- (3) 収束時の精度向上

枠組みの実行可能性については、数値実験を行っていることにより検証できたため、本論文が提案した

汎用的な手法は有効といえるものの、計算時間の効率化や収束時の精度向上に関しては、従来の手法と比較した場合、効率的であることは十分には示しておらず今後さらに数値実験を積み重ねる必要があり、現時点で整理できる事柄を以下に整理した。

計算時間

再構成に要する計算時間は大部分はGA計算でありその計算は次式のように表される。

$$t_{total} \approx t_{GA} = n_{generation} \times n_{individual} \times t_{unit} \quad (3)$$

t_{total}	合計計算時間
t_{GA}	GAの計算時間
$n_{generation}$	GAの世代数
$n_{individual}$	GAの個体数
t_{unit}	1世代1個体あたりの計算時間

しかし、収束までの世代数や個体数は最適化問題の構造そのものに依存し、一世代一個体あたりの計算時間は観測や知識あるいは地物の数や質に依存すると予想される。たとえば、悪構造の最適化問題であれば収束までの世代や個体を多く必要とし、1つの観測オブジェクトが持つデータ数が多いと尤度算出の計算も時間がかかる。

収束精度

収束時の精度は観測数、知識数等が十分であれば0になるはずであるが、十分でない場合はローカルミニマムに陥る可能性があり、収束時の真の解への近さは観測や知識の量や質に依存すると思われる。

繰り返しになるが、再構成の問題の性質や規模により収束時の精度や計算時間がかかなり変化するため、これらの要因を一つずつ分析する必要がある。これらについては現在研究中であるため、本論文の数値実験はあくまで例証に過ぎず、これらの要因の解明は上述の分析を積み重ねていく必要があり、今後の課題である。

4. 適用例

前章までは、再構成の手法に関して説明してきたが、これが具体的にどのようなニーズに有効であるか整理を行う。

4. 1 適用例

表7では、様々な地物の時空間位置に対するニーズをどのような観測データや地物の知識から再構成を行い、どのように活用していくかを整理した。①や②は時々刻々と移動する人間を対象としており、必要とされる時空間位置の解像度も高いため、非常に多くの観測データや知識が必要とされる。③は移動しない建物が対象であり、いつ建てられ、取り壊されたかの時期そのものが知りたいことが多い。④の道路や建物そのものは移動しないものであるが、様々な工事の過程で形状が変化したり付加されたりすることもあり、申請データや測量データ等から整

合性の取れた最新の形状や官民境界を知りたいことが多い。⑤の水面については、水位計などで断片的には水位がわかるものの、堤防の設計や浸水シミュレーションという観点からは全体の水位が必要であるケースが多い。

4. 2 考察

前節ではいくつかの例を挙げてきたが、実務レベルでのサイクルを包括的に図9にまとめた。民間の立場では魅力ある施設・イベントを計画し、国の立場では国民の安全・快適さを高めるための政策を立て、快適な都市を構築していくことが最終目的であ

表7 各適用例の整理

ニーズ	観測データ	地物の知識	再構成方法	再構成対象	活用方法
①ある人の街や建物内における軌跡の把握	GPSデータ	人の移動距離には上限がある	GPSやタグデータを用い、人の行動モデルにも合う形で軌跡を推定	ある人の時空間位置	行動モデルの把握
	店舗に設置されたタグデータ（付近の滞在した時間データ）	人は通路面上のみを移動する			施設立地計画 災害時の避難誘導
②大都市周辺での時間帯ごとの人口分布の把握	駅の改札の乗降客数データ	人の移動距離には上限がある	乗降客数等の集計データにもあいつつ、マクロ・ミクロの行動モデルに合うように人数の時空間分布を推定	多人数の時空間位置 (例：メッシュごとの人数)	交通政策
	CCDカメラやビデオによる撮影範囲の人数データ	大まかな人口分布は重力モデルに従うことが多い			施設立地計画
③繁華街における各建物の存在の把握	航空写真の判読結果	建物は動かない	航空写真の判読結果である時点の建物の有無を押しさえつつ、建築確認申請データで詳細な建築時期を推定	各建物の時空間位置	固定資産税のための家屋の把握
	建築確認申請データ				防災計画のための密集市街地の把握
④道路面や建物の正確な現況位置の把握	図面による形状データ 測量による基準点データ	道路はクロソイド曲線等に基づき設計される	新しく測量された基準点データに合いつつ、図面の形状データやクロソイド曲線にも近くなるように推定	道路や建物の空間位置	整合性の取れた官民境界の把握
⑤刻々と変化する水位の面的な把握	水位計データ	水は現地の地形に沿って流れる	物理的に正しい流れになるように、かつ実際の水位計や流速計のデータに合うように推定	水の時空間位置（例：水位、水量、流速等）	洪水時の現状把握
	流速計データ	水は流体モデルに基づき流れている			浸水想定時の堤防工事計画

り、そのために観測計画を立て、観測データを収集し、各データを統合し知りたい地物の時空間的状态を再現し、各種計画を立てる一方、再現に関する知識を蓄積する、という一連のサイクルの中で効果的な方法を選択する必要がある。

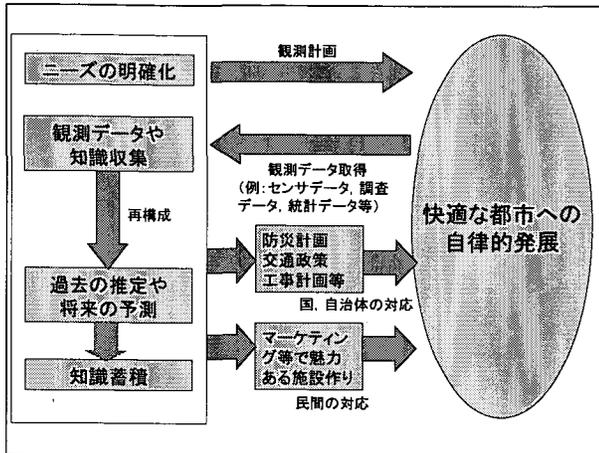


図9 観測計画から政策立案までの一連のサイクル

例えば、水位計のデータをできるだけ早く伝える時には観測データそのものを再現値と見なし、速報データとして伝え、時間的余裕がある場合は様々なモデルと整合性が合うように最適な状態を推定し、最終データとして伝える等の方法が考えられる。

5. おわりに

5.1 本研究の成果と意義

本研究は様々な観測データや知識を統合し、地物の時空間変化を再構成するアルゴリズムを提案し、シミュレーション実験でその枠組みが実現可能であることを確認した。さらに実問題への適用方法を整理した。これらの枠組みを推論型GISと呼ぶこととする。推論型GISの意義は、

- (1) 観測データの標準化
- (2) 再構成プロセスの類型化

であり、その結果、今まで場当たりに使われてきた知識や観測データの有効な利用が可能になり、事実の再現性という観点から観測データの価値付けが可能になる(図10)。

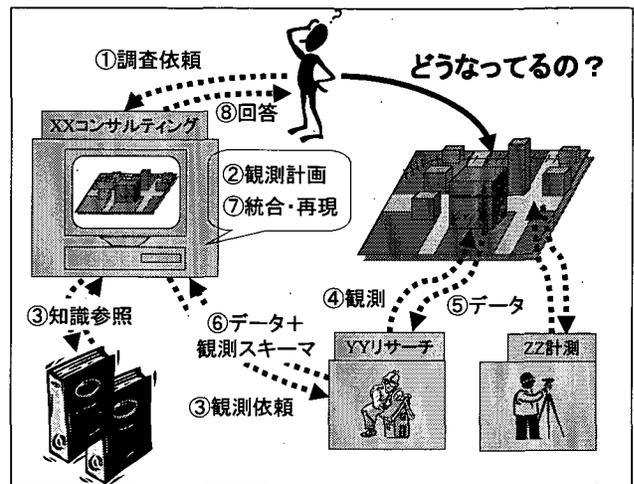


図10 推論型GISにより構築される世界

5.2 今後の課題

本研究の枠組みで様々な局面に対応できる汎用性は示したものの、再構成計算のパフォーマンスに関してはさらに数値実験を積み重ね、効率化する必要がある。そのためには地物や観測や知識などの性質に起因する再構成問題のタイプを類型化し、タイプに応じた効率的な手法を提供する必要がある。また、実装という観点からは観測データ等の構造化を行いやすいようにXMLの提供などを進めていきたい。また各分野の問題についても適用実験を検討したい。

参考文献

- 青木邦友 (2001) IPCarシステムによるデータ収集実験, 「交通工学」, 36(3), 48-50.
- 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳 (2000) PHSによる位置情報を用いた交通行動調査手法, 「土木学会論文集」, 653, 95-104.
- 麻生英樹, 赤穂昭太郎, 本村陽一 (1997) 統計的推論とAIの推論, 「人工知能学会誌」, 12(2), 196-203.
- 天野真家 (2002) 特集-さまざまな次世代GPS測位方式, 「情報処理」, 43(8).
- 飯村威, 高澤信司, 久保紀重, 平井政二, 大伴真吾, 荒井徹哉 (1998) 空間情報と時系列情報の統合化に関する研究-土地・建物情報管理のためのプロトタイプ, 「地理情報システム学会講演論文集」, 7, 113-117.
- 大沢裕, 金景月 (1998) 離散的な時系列管理方式の一提案, 「地理情報システム学会講演論文集」, 7, 107-112.
- 太田守重 (1999) GISのための時空間スキーマ, 「GIS-

- 理論と応用」, 7(1), pp.37-44.
- 大津展之 (1988) 認識と理解のための柔らかな論理, 「電子情報通信学会誌」, 71(11), 1231-1240.
- 小越康宏, 小越咲子, 広瀬貞樹, 木村春彦 (2002) 赤外線センサ情報からのデータマイニングによる独居老人の振舞い認知に関する一考察, 「電子情報通信学会誌」, 85(5), 959-964.
- 小根山裕之, 桑原雅夫 (1997) 路側観測交通量からの時間変化する交通量の推定, 「交通工学」, 32(2), 5-16.
- 狩野均, 中村信昭, 中村友洋 (2002) 知識の集団を用いたGAによる不特定な立ち寄り地を含む経路探索, 「人工知能学会誌」, 17(2), 145-152.
- 黒木進, 牧之内顕文 (1999) 位相空間データモデル Universeの空間, 時間, 時空間データ表現, 「情報処理学会論文誌」, 40(5), 2404-2416.
- 関本義秀, 柴崎亮介 (2000) 時空間データベースのダイナミックな更新を目指した概念データモデルの提案, 「GIS-理論と応用」, 8(1), 63-73.
- 高島洋典, 美濃導彦 (2001) 特集-家庭の情報化, 「情報処理」, 42(11), 1047-1081.
- 趙卉菁, 柴崎亮介 (2000) 地上据え置き型レーザーレンジスキャナーを利用した3次元都市空間データの自動構築手法に関する研究, 「写真測量とリモートセンシング」, 39(2), 48-51.
- 畑山満則, 松野文俊 (2000) 災害時での利用を考慮した時空間地理情報システムにおけるデータ構造に関する考察, 「情報処理学会論文誌: データベース」, 41, 40-53.
- 山村雅幸, 小野貴久, 小林重信 (1992) 形質遺伝を重視した遺伝的アルゴリズムに基づく巡回セールスマン問題の解法, 「人工知能学会誌」, 7(6), 1049-1059.
- Cameron, S. (1990) collision detection by four-dimensional intersection testing, *IEEE Trans. Robotics and Automation*, 6(3), 291-302.
- Goldberg, D. and Lingle, R. (1985) Traveling salesman problem, *Proceedings of International Genetic Algorithm 1*, 154-159.
- Grefenstette, J. and Gopal, R. and Rosmaita, B. and Van Gucht, D. (1985) Genetic algorithm for traveling salesman problem, *Proceedings of International Genetic Algorithm 1*, 160-165.
- Handley, S. and Langley, P. and Rauscher, F. A. (1998) Learning to predict the duration of an automobile trip, *Proceedings of the Fourth International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 219-223.
- Langran, G. (1989) A review of temporal database research and its use in GIS applications, *International Journal of Geographical Information System*, 3(3), 215-232.
- Shibasaki, R. and Huang, S. (1996) Spatio-temporal interpolation by integrating observational data and a behavioral model, *Advances of GIS*, 251-265.
- Sekimoto, Y. and Shibasaki, R. (2000) Conceptual Data modeling for dynamic revision of spatial-temporal database, *Proceedings of 9th International Symposium on Spatial Data Handling(SDH2000)*, 42-56.
- Tanaka, H., Sekimoto, Y. and Shibasaki, R. (2001) Reconstruction of spatio-temporal distribution of event visitors by fusing multi-source data, *Proceedings of 22nd Asian Conference on Remote Sensing*, 2, 1119-1122.

〔原稿受付：2003年4月30日〕
〔採用決定：2003年12月24日〕