【研究・技術ノート】

地理空間情報の時空間化の検討とつくば市における試作

小荒井衛*・中埜貴元**

Trial Production of Temporal Geospatial Dataset about Tsukuba City

Mamoru Koarai, Takayuki Nakano

Abstract: We considered the specification of temporal geospatial information, and produced a temporal geospatial dataset of the area close to Kenkyu-Gakuen Station of the Tsukuba Express in Tsukuba City. Using geospatial data of each year generated from the temporal geospatial dataset, we conducted a temporal spatial analysis of human impacts such as the development of a new traffic network and land surface change such as land use. Effective temporal spatial analysis is possible using a temporal geospatial dataset if the dataset is revised with high temporal resolution.

Keywords: 時空間データセット (temporal geospatial dataset), 時空間解析 (temporal spatial analysis), つくば市 (Tsukuba City)

1. はじめに

地理空間情報を国土計画や環境分野等の様々な分野で高度利活用していくためには、地理空間情報に時間軸を加えることで地物の高頻度な変化を容易に管理し、これまで取得されてきた過去の地理空間情報も含めて貴重な財産として付加価値を持たせることが不可欠である。

これまでの中縮尺の地形図の作成は、ある時間断面の国土表層部の実態を全面的に作成するという手法で行われてきた。しかし、昨今では地理空間情報の時間的鮮度に対するニーズが高まっており、鉄道や主要な道路等が開通すると即時に修正して刊行するなど、準リアルタイムな更新が行われるようになってきている。ただし、鉄道・道路のような地物は適宜更新されても、土地利用・等高線などの情報は全面的な修正時にしか更新されないことが多く、地物種類毎に更新頻度が異なるのが実態である。そこで、地理空間情報のデータ管理は図面単位で行うのではなく、オブジェクト指向の考え方に基づいて、地物毎に発生・変化・消滅等の時間情報を加えてデータを作成し、一元化されたデータセットとして地物単位で管理する方が有効かつ効率的である。このよ

うな地物単位でのデータ管理はデータ管理者の業務を効率化し、また、一元化されたデータセットから特定の時点(日付)の地理空間情報を抽出することで、様々な時点の最適な状況の地理空間情報を出力することができる。

一方、地形図のような基本図は特定の部署で作成されるが、それに含まれる情報(項目)と同等の地理空間情報が、土地利用図のような主題図や航空レーザによるDEM、測地基準点情報として、基本図とは独立して整備されてきている。これらの基本図内の情報と重複する情報を、位置・時間・属性情報も含めて個別に維持管理し、それらの情報を1つのデータセットとして一元的に組み合わせることで、共通白地図としての基本図を効率的に作成することが可能である。すなわち、各地物を専門的に維持管理する部署毎の体制に応じた最良のスペックでデータの管理・更新を行うことができ、それを基本図に反映することで、最適な位置精度情報と時間精度を持った基本図データの作成が実現可能となる。

このような背景のもと、筆者らは国土表層部の実態を表す中縮尺の基本図を対象に、一元のシステム化された時空間情報として管理できる仕様を検討

* 正会員 国土地理院 (Geospatial Information Authority of Japan)
〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番 E-mail: koarai@gsi.go.jp

** 非会員 国土地理院 (Geospatial Information Authority of Japan)

し、そのようなデータの高度利活用可能性を検討したので、その結果を報告する。

2. 地物の時間情報の持たせ方の検討

時間データベースの研究は1980年代末から行われており、登録時間と実在時間を併用したデータベースの提案 (Kumar et al., 1989) や歴史データベースの検索言語の開発 (Snodgrass, 1997) などがある。地理情報システムにおける時間情報の取り扱いについては、データ更新を扱うもの (Raafat et al., 1994) が中心であったが、1990年代からは地物の時間属性をあつかうもの (Cameron, 1990; Worboys, 1994 など) が増加してきている。国内では、1990年代後半から時空間情報管理システムとして位相暗示型のデータベースが提案され (畑山ほか, 1999; 野中・大澤, 2001 など)、カーナビゲーション用のデータフォーマットとして採用されている (KIWI検討委員会, 1998)。最近の時空間データベースに関する研究は、ITSなどの車の移動や人の移動など、より時間変化の激しいものを対象にした研究 (関本・柴崎, 2000) に移ってきている。

地理空間情報を時空間化するにあたり、最初に地物に付与される時間情報の種類について検討した。今回提案する時空間DBは、地理空間情報の解析にも活用できるようにしたい。国家地図作成機関の場合、地方自治体の業務のように申請・届出のあった情報をDBに入力する訳では無いので、登録時間を採用した場合にはDBに職員が入力する日付が時間情報となる。それでは実際に発生・消滅・変化した時間とはかけ離れてしまい、実変化を捉える解析に使用することは困難である。そのため、できる限り実際の生成消滅等の時間に合うように、実在時間を採用することにした。

次に、地物の時間情報の持たせ方について検討したが、大きく2つの方法が考えられる。1つは各地物の属性テーブルに時間情報を持たせる方法で、本論文ではこの手法を「時間属性手法」と呼ぶ。門脇ほか (2001) は、この手法で数値地図2500の時空間化を試みている。もう1つの方法は、水平位置、高さ情報等の位相情報と同等のn次元情報として時間

情報を持たせる方法で、本論文ではこの手法を「n次元手法」と呼ぶ。

時間属性手法は、GISの属性テーブルに時間情報を記入する方法であるため、市販のGISで対応が可能である。一方、n次元手法の場合は、時間情報を位相情報と同次元に扱える特殊な時空間GISソフトが必要となる。このようなGISソフトはDiMSIS (畑山ほか, 1999)、STIMS (野中・大澤, 2001) などいくつか提案されているが、市販されている通常のGISソフトには無い。また、筆者らは作成した時空間データセットを使った時空間解析を実施したいと考えているが、DiMSISやSTIMSはデータ管理を目的としたもので、解析機能は装備されていない。そこで筆者らは、今回検討する時空間データセットの時間情報の持たせ方は時間属性手法を採用することとした。このデータセットを使って時空間解析を行う場合には、解析者が解析に必要な特定の時点のGISデータを時空間データセットから抽出して高頻度時系列のGISデータを作成し、一般的なGISソフトを使用して高頻度時系列解析を行うことで対応することにした。

なお、カーナビにおける車線規制情報など、刻一刻と変化する情報については、時間属性手法で時間情報を持たせると、属性テーブルのデータ量が膨大になり、データ管理や検索等の処理に時間がかかるため現実的ではない。このような場合には、n次元手法を採用して時空間GISソフトでデータ管理を行った方が良いと判断される。しかし、筆者らが今回検討対象とした地理空間情報は、国土表層部の現状を示す地理空間情報であり、刻一刻と高頻度に状況が変化するものではない。よって、時間属性手法でも十分に対応可能なデータと判断した。

3. 時空間データ仕様の検討

地理空間情報の時空間化のためのデータ仕様の検討は、それぞれの地物項目の特性に応じて最適な仕様を検討する必要がある。本研究では、交通網や建物、行政界、筆界のように、個別に発生や消滅が任意に生じうる地物・境界 (「発生消滅型地物」とよぶ) と、土地利用やDEMなどのように必ず一義的に存

在し面的に覆うデータ（「被覆型地物」とよぶ）とに別けて検討した。これまで旧版地形図を対象にした研究（明野ほか，2002）や数値地図2500を対象にした研究（門脇ほか，2001）はあったが，いずれも被覆型のデータは対象にしておらず，今回の検討は新たな試みと言える。

（1）発生效滅型地物の時空間データ仕様

発生效滅型地物については，基本的に畑山ほか（1999）で示されている考え方を踏襲し，個別の地物に対して発生開始（SS），発生完了（SE），消滅開始（ES），消滅完了（EE）の4つの時間属性を持たせた（図-1）。行政資料（官報）等で厳密な時間情報が確認できる場合には，時間属性について日単位までの正確さで入力が可能である。一方，地物が変化した時間が航空写真や衛星画像等の画像資料でしか確認できない場合には，時間に曖昧性を持った概念で時間情報を捉えなければならない。角本ほか（2004）はそのような曖昧性については図-2に示すような概念で捉えている。本研究では，そこまで内容を複雑にせず，それぞれの4つの時間について，行政資

図-1 発生效滅型地物の時間情報の考え方
（畑山ほか 1999 を改変）

図-2 時間情報の曖昧性を考慮した発生效滅型地物の時間情報の考え方（角本ほか，2004）

料に基づく厳密な時間情報なのか，画像等の資料に基づく曖昧性を持った時間情報なのかを，後で検証できるように属性を付与することで対応した。

現実的には，SEやESについては厳密な日付を入力することが可能な場合が多いと考えられるが，SSとEEについては困難な場合が多いと想定される。また，SSとEEについて曖昧さを許容しても入力が入力不可能な場合には，それぞれSEとESの日付を入れることになる。このように，時間に対して曖昧な運用を許すことで，データ整備者の過剰な負担を減らすことができ，実効的な時間情報の収集が可能となる。地図表現上は，SSとSEの間の時間の地物は，建設中の道路（鉄道，建物）という扱いになる。一方ESとEEの間の時間の地物については，現在の地形図等では表現されていないが，廃線跡や解体中の建物などとして扱われると考えられる。いずれにしても，時間属性に応じてどのような地図表現をするかは地図作成者が自在に設定できることを想定している。

以上の検討結果から，発生效滅型地物の時空間データ仕様については，地物毎に4つの時間属性を入力することとし，固定長のデータ仕様とした。一例として，道路の場合の属性テーブルのデータ構造を，表-1に示す。

表-1 道路の固定長型データ構造

ユニークID	道路種別	道路区分	道路幅員	道路の名称	発生開始日	発生終了日	消滅開始日	消滅終了日	官報・県報使用フラグ
(8桁)	(1桁)	(1桁)	(3桁)	(text)	(8桁)	(8桁)	(8桁)	(8桁)	(1桁)

（2）被覆型地物の時空間データ仕様

土地利用，DEMなどの被覆型地物に関しては，筆者らは既存の研究とは独立して，図-3で示すような考え方の時間情報の付与を考えた。ある地点（メッシュまたはポリゴン）において，実際に属性Aが属性Bに変化した時刻をTtrueとして，それを示す近接の画像情報がT1とT2の場合，ここで確実に言えるのは，「T1にはAが存在しており，Bは存在していない」とことと，「T2にはAは存在しておらず，Bが存在している」とことである。すなわち，AはT1からT2の間に消滅し，Bは同期間に発生したこと

図-3 土地利用等の時間情報の考え方

になり、T1はAの消滅開始(ES)及びBの発生開始(SS)、T2はAの消滅完了(EE)及びBの発生完了(SE)となる。

以上の検討結果から、被覆型地物の時空間データ仕様については、属性が変化する毎にデータ更新を迅速に行えるように、更新属性情報と時間情報をメッシュまたはポリゴンごとに追加するような可変長のデータ仕様とした。表-2に示すように、変化が確認される毎に確認前後の2時期の画像の日付を入力する。土地の造成開始日のように、変化の日付が特定できる場合には、同じ日付を2回入力すれば良い。

表-2 土地利用データの可変長型データ構造

ユニークID	初年月日 (西暦)	左記年の土地 利用 コード	左記土地利用の 消滅開始年月日 (1回目変化の発生 開始年月日) (西暦)	左記土地利用の 消滅完了年月日 (1回目変化の発生完了 年月日) (西暦)	1回目変化 後の土地 利用コード	~	(n-1)回目変化 の消滅開始年月日 (n回目変化の発生 開始年月日) (西暦)	(n-1)回目変化 の消滅完了年月日 (n回目変化の発生 完了年月日) (西暦)	n回目変化 後の土地 利用コード
(8桁)	20000101	(4桁)	(8桁)	(8桁)	(4桁)	~	(8桁)	(8桁)	(4桁)

4. つくば市の時空間データセットの作成

前述した時空間情報のデータ仕様の考え方に基づき、茨城県つくば市の一部において時空間データセットを構築した。空間範囲は、つくばエクスプレス(以下「TX」と略す)の開通により近年大規模土地開発が急激に進んでいる、つくば市の研究学園駅周辺の東西3km、南北5kmの15km²とした。時間範囲は2000年以降の約9年間とした。衛星画像や資料調査に基づいてほぼ1年以下の単位で地物の生成・消滅・変化を捉え、時間精度の高い時空間データを作成した。データ項目は2.5万分1地形図に描画さ

れている主要項目として、交通網、土地利用(メッシュ、ポリゴン)、DEM、建物、水系を採用した。

道路に関しては数値地図5000(土地利用)の道路用地ポリゴンを使用し、ライン(中心線)及びポリゴン(道路縁)を取得した。表-1のデータベースの道路種別は、1.庭園路、2.石段、3.一般道、4.高速道路、5.その他とし、道路区分は1.国道、2.県道、3.市道、4.その他の道路、道路幅は真幅値とした。

土地利用については、数値地図5000(土地利用)を基に2000年のメッシュデータとポリゴンデータを作成し、その後の変化は空中写真や衛星画像等の判読により差分を抽出する形で行った。表-2のデータベースの土地利用コードは、2.5万分1地形図に近い地図表現を行うため、1.広葉樹、2.針広混交林、3.針葉樹、4.竹林、5.荒地、6.その他山林・荒地等、7.田、8.畑、9.茶畑、10.その他の樹木畑、11.造成中地・空地、12.工業用地、13.住宅用地、14.商業業務用地、15.道路用地、16.公園・緑地等、17.その他の公共公益施設用地、18.河川・湖沼等、19.その他に区分した。

地形(DEM)のデータ仕様は、表-2の土地利用コードを標高値に置き換えたものである。DEMは2001年の北海道地図作成の10mメッシュDEM(元データは2.5万分1地形図)、2005年計測の航空レーザによる5mメッシュDEM((株)パスコ)、2008年計測の航空レーザによる2mメッシュDEM(国際航業(株))を使用した。2001年DEMと2005年DEMは5m以上の高さ変化のあった場合を、2005年DEMと2008年DEMは2m以上の高さ変化のあった場合を変化箇所とみなし、期間を通じて変化のないメッシュは2008年の標高値を採用した。

建物データは、2005年オルソ画像の図化によって建物ポリゴンデータを作成し、1999年の空中写真と2000年以降の衛星画像(IKONOS, GeoEye-1オルソ)を用いて2005年建物ポリゴンデータを2000年にさかのぼって修正し、その後時系列的に修正、時間情報を付与した。

水系データは、数値地図5000(土地利用)から水系を抽出し、2000年の水系データ(河川中心線、水涯線)を作成し、それ以降のオルソ画像と衛星画像

(IKONOS, GeoEye-1 オルソ)を用いて、2000年のデータを時系列的に修正、時間情報を付与した。

5. 時空間データセットによる地形図描画

時空間データセットからある特定の時点(2000年, 2003年, 2006年, 2009年の各4月1日)のデータを抽出して描画した例を図-4に示す。

道路に関しては、道路縁データをそのまま表示した。幅員1.5m未満は徒歩道とし、破線表示とした。庭園路は平成14年2.5万分1図式に従って表示した。また、時間属性により建設中の期間と判断される道

図-4 時空間データセットの描画
(上から 2000 年, 2003 年, 2006 年, 2009 年)

路は、グレーで塗色した。土地利用に関しては、広葉樹、針広混交林、針葉樹、竹林、荒地、田、畑、茶畑、その他の樹木畑について、各テクスチャの読み込みにより描画した。DEMについては、DEMから2m間隔の等高線を発生させ、10mごとに計曲線とした。ただし、等高線はすべて閉曲線として表示するものとし、岩がけ、土がけ、被覆等の表現は行っていない。建物はすべて真位置で描画し、総描等を行わなかった。また、建設中期間の建物は通常建物よりも色を薄く表示した。水系情報については、基本的に2.5万分1地形図と同様の表現とした。なお、幅が5m未満の河川は河川中心線を一条河川として表示した。限られたデータ項目ではあるが、共通白地図的なデータとして利用可能な描画表現ができているものとする。

6. つくば市時空間データを用いたデータ解析

時空間地理情報を用いてデータ解析を行うためには、時空間データセットから解析に必要な時間頻度(例えば1年毎など)でデータを抽出して高頻度時系列地理空間情報を作成し、時系列解析を行えば良い。本研究では、試作した時空間データを使用して1年毎の時系列地理空間情報を作成し、TX沿線の土地利用および建物の時間変化量の時空間解析を行った。TXの研究学園駅を中心に、1000mまで100m間隔で円バッファを発生させ、路線着工当時から各バッファにおける土地利用の変化量と変化年を土地利用分類ごとに求め、時間と土地利用変化量の関係を考察した。

TX研究学園駅を中心とした面積集計結果のうち、バッファ300～400mを図-5に、900～1000mを図-6に示す。なお、2006年と2007年は原資料がなく、変化情報を取得できなかったため、この結果では2005～2008年の3年間をまとめて表示している。いずれも2003年以降の変化面積が大きくなっているが、これはTX開通(2005年10月)を間近に控えた開発ラッシュのためと思われる。

バッファ300～400mにおける土地利用の変化内容については、2003～2004年は変化前が様々な土地利用なのに対して、変化後は造成中地が大部分を

図-5 TX 研究学園駅からバッファ 300-400m の土地利用変化

図-6 TX 研究学園駅からバッファ 900-1000m の土地利用変化

占めている。2008～2009年は、変化前は造成中地が多いのに対し、変化後は住宅用地、商業業務用地の割合が多く、開発が進んできている様子が伺える。一方、バッファ 900～1000m に関しては、2008 年以降の変化量が大きく、バッファ 300～400m よりは開発が少し遅れている様子が伺われる。2008～2009 年の変化は、変化後の土地利用が造成中地になっている割合が、バッファ 300～400m より大きいことから、その傾向が読み取れる。

以上のことから、時空間データセットの更新が適宜行われていれば、データセットから特定の時点の GIS データを切り出して時系列解析を行うことで、国土計画や環境計画分野で有効な地理情報解析が行える可能性があることを示すことができたと考えられる。

7. まとめ

中縮尺レベルの基本図を対象に、時空間化すべき地理空間情報の項目と仕様を検討し、発生消滅型地物と被覆型地物とに分けて、データ仕様を提示した。提示したモデルでつくば市の TX 沿線で時空間データセットを試作し、データセットから特定の時点の GIS データを抽出して、共通白地図として活用可能な描画や、人為インパクトと土地利用変化との関連性解析が可能であることを示した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、以下の方々（敬称略）に御教示頂いた。また、匿名の査読者からのコメントが論文の改善に役立った。ここに記して心より感謝申し上げる。村山祐司・堤盛人（筑波大学）、角本繁（東京工業大学）、畑山満則（京都大学）、吉川耕司（大阪産業大学）、浅野耕一（秋田県立大学）、大澤裕（埼玉大学）、清水英範・布施孝志（東京大学）、井上亮（東北大学）、浅野和仁（富田林市）、太田守重（国際航業（株））。

参考文献

- 明野和彦・星野秀和・安藤暁史（2002）旧版地形図を利用した時空間データセットの試作.「国土地理院時報」, **99**, 89-102.
- 角本繁・畑山満則・岡田憲夫（2004）時空間 GIS による地域情報共有と震災シミュレーション—緊急業務にも対応できる平常時システムの実現—.「京都大学防災研究所年報」, **47B**, 69-80.
- 門脇利広・中南清晃・小荒井衛（2001）GIS 基盤情報（数値地図 2500）の時系列管理手法に関する研究.「GIS-理論と応用」, **9**(2), 61-66.
- KIWI 検討委員会（1998）『KIWI Format Ver.1.10』, KIWI 検討委員会編.
- 関本義秀・柴崎亮介（2000）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.
- 野中秀樹・大沢裕（2001）トポロジー暗示型データモデルをベースとする GIS における処理時間に関する実験的考察.「GIS-理論と応用」, **9**(2), 17-24.

畑山満則・松野文俊・角本繁・亀田弘行 (1999) 時空間地理情報システム DiMSIS の開発. 「GIS-理論と応用」, **7**(2), 25-33.

Cameron, S. (1990) Collision Detection by Four-Dimensional Intersection Testing. *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, **6**(3), 291-302.

Kumar, A., Tsotras, V.J. and Faloutsos, C. (1989) Designing access method for bitemporal database. *IEEE Trans. on KE*, **10**(1), 1-20.

Raafat, H., Yang, Z. and Gauthier, D. (1994) Relational Spatial Topologies for Historical Geographical Information. *International Journal of Geographical Information Systems*, **8**(2), 163-173.

Snodgrass, R. (1997) The temporal query language TQuel. *ACM Trans. Database Systems*, **12**(2), 422-432.

Worboys, M. (1994) A Unified Model for Spatial and Temporal Information. *The Computer Journal*, **37**(1), 26-34.

(2010年10月6日原稿受理, 2012年11月19日採用決定, 2013年4月26日デジタルライブラリ掲載)