高速道路における既存のCAD図面を活用した 効率的な車線データの構築手法の開発

関本 義秀¹・山田 晴利²・松林 豊³

¹正会員 東京大学空間情報科学研究センター 特任准教授 (〒277-8568 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

¹E-mail:sekimoto@csis.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学空間情報科学研究センター 特任教授 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

²E-mail:yamada.hal@csis.u-tokyo.ac.jp

³正会員 国際航業株式会社 企画部事業開発グループ (〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)

³E-mail:yutaka_matsubayashi@kk-grp.jp

本研究では、自動運転や車線レベルの車両の挙動特性の把握等、次世代のITSサービスに向けた検討に向けて、高速道路の既存のCAD図面と種級区分の情報から、モデルベースで車線レベルのデータを効率的に生成する技術を開発し、福岡、名古屋、宮城の3地区で実際の空中写真撮影成果と比較し、検証を行った。これまで高精度なデータには多大な計測データを必要としていたが、こうした規格化が進んでいる高速道路のような人工構造物は、モデルベースでデータ生成を行いつつ、断片的な計測データで検証、修正を行うようなアプローチも、現地の変化に対する更新の迅速化や、現地計測を減らせることによるコスト低減という観点からも、今後重要になると考えられる。

Key Words : ITS, CAD, lane data, model-based approach

1. はじめに

近年、様々な形で ITS の高度化が進んできている。国内では、2008 年 3 月時点でカーナビの出荷台数が 3000 万台、VICS の出荷台数が 2100 万台を超え、情報提供のインフラとしての役目が増している。さらに政府の IT 新改革戦略の中では、2010 年度から事故の多発地点を中心に安全運転支援システムの全国への展開を図るとともに、対応する車載器の普及を促進することとされており¹⁾、路車協調の動きは進展しつつある。

とくに、中長期的に本質的な効率化あるいはイノベティブなサービス実現という観点から車両の制御あるいは自動運転等を考えた場合、海外では、PReVENT プロジェクトにおける MAPS & ADAS²⁾、SAFESPOT³⁾、SAFELANE⁴⁾、あるいは最近では、Google による自動運転 (Autonomous Driving)⁵⁾ などに見られるように、デジタル道路地図やインフラと協調した制御や、レーンレベルの制御/自動走行、挙動特性の把握に向けた研究も増えている。また、Du et al. (2008)⁶⁾では、フリーウェイの実験区間上で D-GPS とマップマッチングにより走行時間 10 万秒 (約 1 日) のうち 97%の時間帯でレーン特定した

と、数値的に評価指標を示している。

一方で、その元となるインフラ側のデータについては、とくに詳細なレーンレベルのデータとなると、1m 以内など精度要件が高く設定されることが多く、費用の面から全国的な整備は簡単ではない。しかし、1/1000 レベルの管理用平面図の CAD 化は進んでおり、中心線レベルの連続性は高いことから、有効活用できる可能性もあると思われる。

そこで、本研究は、高速道路の中心線や車線の規格 (以降、種級区分と呼ぶ) から車線データをモデルベースで自動生成し、それが現実の計測値と比較してどの程度の誤差範囲で収まっているかの評価を行った。具体的には 2 章で既存の CAD 図面の状況を整理し、3 章で車線を自動生成する手法を提案し、4 章で 3 地区で約 20km ずつ検証を行い、5 章で結論を述べる。

なお、既存の図面を使った接合・標定に関する研究は、大崎ら (2001)⁷⁾、布施ら (2010)⁸⁾によるものがあるが、高速道路のようになら、規格化された構造物で車線構造を考慮し、広域のデータを効率的に生成し、精度検証を試みたものは見られない。また、我々は、参考文献⁹⁾の中で、高速道路の中で

既存の図面を使った接合・標定に関する研究を行っているが、2章以降で述べるように CAD 図面上の様々な種類の地物を標定に用いると、CAD 上での地物の位置がやや曖昧なケースもあるため、そうした地物を標定に用いることにより、かえって標定により悪化するケースもあることが分かってきている。

さらに、高速道路のモデル化という意味では、山崎ら (2000)¹⁰⁾ の JHDM (Japan Highway Data Model) が参考になる。ただし、これはデータ交換に重点を置いたデータモデルの提案が主であり、今回の位置精度の検証とはやや切り口が異なる。

2. 既存のCAD図面の整備状況

NEXCO では、国土交通省と協力し、JH 時代に作成した「管理用平面図作成要領」に基づき、1/1000 レベルの平面図の CAD 化を行っている。図-1 は参考文献⁹⁾の再掲であるが、中心線レベルでの連続性は高く、中心線レベルの接合はほぼ不要と言える。ただし、このような相対的な位置関係に比べて、絶対的な位置については計測が行われておらず、CAD データの様々な地物の位置座標を使うにはある程度の既知点に基づく標定は必要であった。

Each drawing covers about 800 m in length.

Dividing lines, i.e. a boundary between adjoining drawings

In this drawing, lane markings are not drawn.

図-1 管理用平面図の状況 (上: 図面同士の連続状況, 下: 1図面の詳細, 参考文献⁹⁾の再掲)

3. 提案する手法

実際に参考文献⁹⁾は CAD 図面に記載されているいくつかの地物（路面端部，跨道橋（OV）等の構造物，距離標等）を VRS（Virtual Reference Station：仮想基準点）測量で短時間の観測で簡易に計測を行い，それを元に標定を行っている（図-2）。ただし，その精度は二乗平均誤差が 1～3m と 1/2500 程度であり，CAD 図面上の地物の記載位置が必ずしも高精度ではなく，ヘルマート変換による標定の精度に影響を与えることもわかった。

そこで本研究では，安全運転支援の観点から車線データに重点を置き，ある程度相対的な関係が保証されている中心線をベースに，道路構造の情報としての種級区分の情報を既知として，モデルベースで車線データを推定，再現することとした（作成例は図-3）。参考文献⁹⁾との作成手順の比較を図-4 に記したが（左が参考文献⁹⁾で，右が本研究），車線データの中に絞って自動生成しているため，手順がかなり簡素化できている。また，高速道路便覧¹¹⁾によると，種級区分別の横断面形状は表-1 のように設計速度や構造物に応じて，左車線，右車線，中央帯，右路肩等の幅員値が決まっており，これに基づき再現することとする。

実際に作成すべき車線データと CAD 図面上で記載されている線の対応関係は図-5 のとおりで，種級区分 1-2 の横断面形状を例示し，前者が赤矢印，後者が灰色矢印で記載している。

また，本研究では，Autodesk 社の AutoCAD LT2008 の平行線作成（オフセット）のコマンドで行ったが，こうした機能は標準的な CAD ソフトには搭載されているため，今後プログラムレベルでバッチ処理化することなども考えられる。

図-2 接合・標定で使う地物の例

図-3 車線の作成例

図-4 処理フローの比較

（左：参考文献⁹⁾の接合・標定による方法，右：本研究で提案するモデルベースで自動生成する方法）

表-1 高速道路を中心とした種級区分別の横断面形状

種級区分	設計速度	構造物	幅員値 (m)				備考
			左車線	右車線	中央帯	右路肩	
1-1-A 1-1-B	120	土工	3.5	3.75	4.5	—	
		橋梁			—	1.0	
1-2-A 1-2-B	100	土工		3.5	4.5	—	
		橋梁			—	1.0	
1-3-A 1-3-B	80	土工	3.25	3.25	3.0	—	
		橋梁			—	0.75	
1-4-A 1-4-B	60	土工			3.0	—	
		橋梁			—	0.75

図-5 道路構造をもとにした作成する車線データと CAD 図面上に記載された線

4. 比較実験

(1) 対象地区と検証方法

これらの準備をもとに、実際に車線を自動生成するとともに現地計測により検証を行った。本研究では九州自動車の福岡地区（平野部）、東名自動車道の名古屋地区（平野部）、東北自動車道の宮城地区（山間部）を対象に、平成21年8月～平成22年2月の時期に、それぞれ20km程度を空中写真による撮影、空中三角測量を行い（図-6）、その成果を真値とする。また、自動生成した車線データとは、3～4kmずつ、6つの区間に分け、1つの区間ごとに上下線合わせ1断面6点計測し、その差を比較した（図-7）。

(2) 結果

表-2は参考文献⁹⁾に基づく方法で、1区間あたり、2点の既知点に基づく標定を行った結果であり、二乗平均誤差は1～2mであるが、ヘルマート変換で標定を行った後のほうがより精度が悪化している。

一方、表-3は本研究の提案する種級区分に基づき、モデルベースで車線を作成した場合の結果である。

こちらも念のため、各区間で図面単位でヘルマート変換で標定を行ったが、変換前の段階で二乗平均誤差が各区間の平均で0.34m、最悪値でも0.75mとかなり高精度となっている。さらに標定を行うと、平均0.22m、最悪値は0.74mとなり、平均的には精度向上するものの、多少精度のよくない図面が混じって精度が悪化する最悪値の区間はあまり改善が見られないようである。

さらに、名古屋地区、宮城地区の検証結果をまとめたものが表-4、5である。結果としては両地区とも精度は大変高く、二乗平均誤差も1mを大きく下回り、名古屋地区では標定前で平均0.14m、最悪値0.29m、標定後で平均0.10m、最悪値0.27mである。また、宮城地区では標定前で平均0.18m、最悪値0.57m、標定後で平均0.15m、最悪値0.56mとなっている。

従って、種級区分に基づき車線を作成した場合は車線判別に必要な1m以内を、各区間、二乗平均誤差で各標定前の状況においても、最悪値ベースでも達成し、平均値は0.3mとなり1/500レベルと言える。また、標定を行うとさらなる精度向上は見られるも

の、標定前から高精度が実現できているため、標定のための作業量を考慮すると必ずしも必要でないことが確認できた。

(3) コスト削減と迅速化効果

また、本研究で提案する自動生成手法の場合、精度の高さ以外にも、コスト削減効果や迅速なデータ整備も期待できる。すなわち、自動生成でもかなりの高精度となるため、図面ごとや区間ごとの標定点

の取得のための現地測量が不要となり、全国ベースでも数億円のオーダーの削減効果はあると思われる。また、プログラムによる計算が主となるため、道路規格の変更や地震によるずれがあった場合などは、前者は種級区分データの変更で、後者は例えば中心線データの変更をベースにその後はプログラム計算で対応可能なため、現地測量とは無関係に迅速に対応でき、一貫性のある運用が実現できる。

図-6 対象地域 (3箇所)

図-7 評価方法

表-2 既存手法 (参考文献⁹⁾) で標定した場合の精度評価結果 (福岡地区)

区間 番号	区間 延長 (km)	標定 (ヘルマート変換) 前			標定 (ヘルマート変換) 後		
		二乗平均 誤差 (m)	較差平均 (m)	標準偏差 (m)	二乗平均 誤差 (m)	較差平均 (m)	標準偏差 (m)
A	3.6	1.01	0.94	0.36	1.30	1.22	0.48
B	2.7	1.62	1.31	0.99	1.80	1.50	1.06
C	3.3	1.58	1.44	0.66	1.93	1.77	0.80
D	4.2	1.35	1.10	0.79	1.59	1.31	0.92
E	2.6	1.56	1.24	0.97	1.73	1.43	0.98
F	4.0	1.07	0.86	0.65	1.17	0.92	0.74

表-3 モデルベースアプローチにより生成した車線データの精度評価結果 (福岡地区)

区間 番号	区間 延長 (km)	標定 (ヘルマート変換) 前			標定 (ヘルマート変換) 後		
		二乗平均 誤差 (m)	較差平均 (m)	標準偏差 (m)	二乗平均 誤差 (m)	較差平均 (m)	標準偏差 (m)
A	3.6	0.11	0.09	0.06	0.07	0.05	0.04
B	2.7	0.29	0.20	0.21	0.17	0.12	0.12
C	3.3	0.11	0.09	0.07	0.08	0.06	0.05
D	4.2	0.22	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08
E	2.6	0.55	0.26	0.48	0.11	0.08	0.07
F	4.0	0.75	0.64	0.39	0.74	0.64	0.37

表-4 モデルベースアプローチにより生成した車線データの精度評価結果 (名古屋地区)

区間 番号	区間 延長 (km)	標定 (ヘルマート変換) 前			標定 (ヘルマート変換) 後		
		二乗平均 誤差 (m)	較差平均 (m)	標準偏差 (m)	二乗平均 誤差 (m)	較差平均 (m)	標準偏差 (m)
A	2.4	0.13	0.09	0.09	0.06	0.05	0.04
B	3.1	0.18	0.17	0.06	0.05	0.04	0.03
C	3.4	0.10	0.09	0.05	0.08	0.06	0.05
D	2.4	0.14	0.12	0.06	0.13	0.09	0.10
E	2.5	0.08	0.06	0.06	0.07	0.06	0.05
F	1.6	0.07	0.06	0.04	0.06	0.05	0.04
G	3.2	0.29	0.17	0.23	0.27	0.13	0.24

表-5 モデルベースアプローチにより再現した車線データの精度評価結果 (宮城地区)

区間 番号	区間 延長 (km)	標定 (ヘルマート変換) 前			標定 (ヘルマート変換) 後		
		二乗平均 誤差 (m)	較差平均 (m)	標準偏差 (m)	二乗平均 誤差 (m)	較差平均 (m)	標準偏差 (m)
A	1.6	0.14	0.11	0.09	0.11	0.08	0.07
B	2.4	0.10	0.08	0.06	0.09	0.07	0.06
C	3.9	0.11	0.10	0.06	0.06	0.05	0.03
D	4.0	0.11	0.09	0.06	0.09	0.07	0.06
E	3.2	0.14	0.12	0.08	0.07	0.05	0.04
F	4.0	0.57	0.36	0.44	0.56	0.36	0.43
G	2.4	0.12	0.10	0.07	0.10	0.08	0.06

5. まとめ

本研究では、効率的に車線データを作成するために、種級区分のような高速道路の規格の情報をもとに自動生成を行い、現地計測した結果と照合を行った。中心線の位置精度や現場の施工精度が高いという条件を満たせば、CAD図面上に記載されているいくつかの地物を現地計測し、標定を行うより精度も高く、また、モデルベースで再現することにより、図面間の表記の揺れなどがあっても一貫性を保ちやすくなることが言える。現状では高精度なデータは

多大な現地計測が必要になるケースが多いが、今後はこうしたモデルベースで車線の生成を行い、別途得られる断片的な計測データなどから必要に応じて微修正するような研究を進めていきたい。

謝辞：本研究では高速道路保有債務返済機構とNEXCO各社に大変お世話になった。深く感謝する。

参考文献

1) 国土交通省道路局 ITS ホームページ:

- <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/index.html> (アクセス : 2011 年 10 月 21 日) .
- 2) MAPS&ADAS Final Report; http://prevent-ip.org/en/public_documents/ (アクセス : 2011 年 10 月 21 日) .
- 3) SAFESPOT; <http://www.safespot-eu.org/pages/page.php> (アクセス : 2011 年 10 月 21 日) .
- 4) SAFELANE; http://www.prevent-ip.org/en/prevent_subprojects/lateral_support_driver_monitoring/safelane/ (アクセス : 2011 年 10 月 21 日) .
- 5) NYTimes: "Google Cars Drive Themselves, in Traffic", <http://www.nytimes.com/2010/10/10/science/10google.html> (アクセス : 2011 年 10 月 21 日) .
- 6) Du, J. and Barth, M.; "Next-Generation Automated Vehicle Location Systems: Positioning at the Lane Level", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.9, No.1, pp.48-57, 2008
- 7) 大崎喜久雄, 松村一保, 窪田諭, 下妻勇輔, 北川育夫, 柴原芳信 : GIS 基盤データとしての道路台帳の有効活用と RTK-GPS 測量による図面作成手法, 土木情報システム論文集, 土木学会, Vol.10, pp.61-68, 2001.10.
- 8) 布施孝志, 落合修 : 連続する複数図面の標定手法に関する検討, 応用測量論文集, Vol.21, pp.69-77, 2010.
- 9) Harutoshi Yamada, Yoshihide Sekimoto, Yutaka Matsubayashi, A study on the quality of CAD drawings of expressways and addition of lane marking data, Journal of Applied Computing in Civil Engineering, Vol.19, pp.175-184, 2010.
- 10) 山崎元也, 本郷延悦, 千葉洋一郎 : Japan Highway Data Model 構築の基礎研究, 土木情報システム論文集, 土木学会, Vol.9, pp.33-42, 2000.
- 11) 建設省道路局 : 高速道路便覧, 1997.

(2011. 10. 21 受付)

AN EFFECTIVE METHOD FOR DEVELOPMENT OF LANE MARKING DATA USING EXISTING CAD DRAWINGS OF EXPRESS-WAYS

Yoshihide SEKIMOTO, Harutoshi YAMADA and Yutaka MATSUBAYASHI

Recently, ITS services for next-generation, such as deviation prevention system at lane-level or autonomous driving, are making progress.

In this study, we develop an effective generation method for lane marking data by model-based approach using existing CAD drawings and road gauge type. Moreover we verify our generated data comparing with aerial survey product in three areas all over Japan. As for standardized artificial structure such as express-way, our approach, generating data with consistency by model-base approach and verifying, modifying generated data by fragmentary survey data, become very important in the sense of cost reduction and prompt generation/modification, though much survey data are required for high accuracy data until now.